

**ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA GLORIETA DE LA CALLE 63  
CON CARRERA 60 CON EL SOFTWARE PTV VISSIM**

**NURY PAOLA SIERRA ROJAS  
CODIGO 505171**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INGENIERIA CIVIL  
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
BOGOTA  
2021**

**ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA GLORIETA DE LA CALLE 63  
CON CARRERA 60 CON EL SOFTWARE PTV VISSIM**

**NURY PAOLA SIERRA ROJAS  
CODIGO 505171**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Civil  
Modalidad trabajo de Investigación**

**Docente Asesor  
Guillermo Cortes Quintero  
Ingeniero**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INGENIERIA CIVIL  
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
BOGOTA**

2021



## Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

**Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

PRESIDENTE DEL JURADO

---

JURADO

---

JURADO

Bogotá D.C., Noviembre, 2021

Este proyecto de investigación quiero dedicarlo a mi familia que siempre me apoyó, quienes dieron lo mejor de sí para colaborarme y sacar adelante mi carrera, a mi hija Isabela quien soportó mi ausencia por los tiempos que dediqué estudiando y trabajando para salir adelante pero siempre me respaldó con su sonrisa.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios porque con el todo es posible.

A mi madre quien hace todos los sacrificios posibles, a sus oraciones, ella se merece todo el reconocimiento por su gesto de bondad y fortaleza. A mis hermanos Lida y José quienes me han enseñado que con constancia y trabajo duro puedo lograr todo lo que me proponga.

A mi tutor el ingeniero Guillermo Cortes por la motivación y apoyo durante la elaboración de este proyecto de investigación.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. GENERALIDADES	15
1.1 ANTECEDENTES	15
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2.1 Descripción del problema	19
1.2.2 Formulación del problema	21
1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 Objetivo general	21
1.3.2 Objetivos específicos	21
1.4 JUSTIFICACIÓN	21
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	22
1.6 MARCO DE REFERENCIA	23
1.6.1 Marco teórico	23
1.6.1.1 Movilidad urbana	23
1.6.1.2 Rotondas dentro de la movilidad urbana	25
1.6.1.3 Pasos a desnivel	29
1.6.2 Marco contextual	31
1.6.2.1 Niveles de movilidad en la ciudad de Bogotá	31
1.6.2.2 Los puentes vehiculares en la ciudad de Bogotá	33
1.6.3 Marco Conceptual	35
1.6.3.1 Clasificación de las vías	35
1.6.3.2 Velocidad de recorrido	36
1.6.3.3 Velocidad de marcha	36
1.6.3.4 Nivel de servicio	36
1.6.3.5 Estimación de velocidad	38
1.6.3.6 Determinación del tiempo de recorrido.	40
1.6.4 Marco Normativo	41
1.7 METODOLOGÍA	41
1.7.1 Tipo de investigación	41
1.7.2 Fuentes de información	41
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	41
1.8.1 Etapa 1 Estudio de tránsito	41
1.8.2 Etapa 2 Análisis funcional	42
1.8.3 Etapa 3 Modelación de solución propuesta	43
2. CARACTERIZACIÓN ZONA DE ESTUDIO	44
2.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA	44
2.2 Centros generadores de tráfico	45
2.3 CORREDORES VIALES	46
2.3.1 Clasificación de las vías	46

2.3.2 Intersección vial	46
2.3.3 Estado de las vías	48
2.3.4 Zonas de parqueo	48
3. ANÁLISIS DEL NIVEL FUNCIONAL ACTUAL	52
3.1 Intersecciones glorieta Av. Calle 63 con Carrera 60	52
3.2 VOLÚMENES VEHICULARES	53
3.2.1 Día Típico – 14 de febrero de 2017 Intersección de la Avenida Carrera 60 con Avenida Calle 63	54
4. ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO	56
4.1 METODOLOGIA	56
4.2 CONSIDERACIONES GENERALES	56
4.3 CONFIGURACIÓN DEL MODELO	58
4.3.1 Carriles	58
4.3.2 Rutas de decisión	60
4.3.3 Nodos de evaluación	61
4.4 CALIBRACIÓN DEL MODELO	62
4.5 RESULTADOS SITUACIÓN ACTUAL	65
4.6 MODELCIÓN CON LA PROPUESTA A DEL PASO DESNIVEL	67
4.6.1 Resultados modelación con la propuesta a del paso desnivel	67
5. CONCLUSIONES	70
6. RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	75

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Elementos a tener en Cuenta para el Diseño y Construcción de Pasos a Desnivel	29
Tabla 2. Tipos de Intersección a Desnivel	30
Tabla 3. Clasificación Mallas Viales	35
Tabla 4. Clasificación de Vías Urbanas por Nivel de Servicio	37
Tabla 5. Nivel de Servicio para Arterias Urbanas según su Clasificación	38
Tabla 6. Datos de Entrada y Valores para Estimación de Velocidad	39
Tabla 7. Estimación del Tipo de Vía para Arterias Urbanas según la Velocidad a Flujo Libre y la Densidad de Semáforos	39
Tabla 8. Estimación de Tiempo de Marcha por Kilómetro	40
Tabla 9. Límites de la Zona de Estudio	44
Tabla 10. Movimiento de la Glorieta Avenida Calle 63 con Carrera 60	47
Tabla 11. Rutas de Transporte Público	49
Tabla 12. Puntos y Fechas de Toma de Información por Tipo de Estudio	52
Tabla 13. Tasas de Crecimiento Anuales en Períodos Quinquenales	54
Tabla 14. Volúmenes Vehiculares HMD - Avenida Carrera 60 con Avenida Calle 63	54
Tabla 15. Niveles de Servicio para Intersecciones no Semaforizadas	57
Tabla 16. Niveles de Servicio para Intersecciones Semaforizadas	57
Tabla 17. Descripción Niveles de Servicio en Intersecciones	57
Tabla 18. Datos de Entrada por Tipo de Vehículo (HMD Proyecto)	60
Tabla 19. Identificación y localización de los nodos de evaluación	62
Tabla 20. Parámetros de Validación	64
Tabla 21. Modelos de Validación	64
Tabla 22. Calibración del Modelo por Volúmenes - Mixtos	65
Tabla 23. Resultados Desagregados del Modelo de Micro Simulación - Situación Actual	66
Tabla 24. Resultados RED del Modelo de Micro Simulación - Situación Actual	66
Tabla 25. Resultados Desagregados del Modelo de Micro simulación – zona de Estudio con Paso a Desnivel	67
Tabla 26. Resultados Desagregados del Modelo de Micro Simulación AC63 Elevada y AK 60 Elevada	68
Tabla 27. Resultados RED del Modelo de Micro Simulación – Zona de Estudio con Paso a Desnivel	69

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de la movilidad como elemento articulador de la planeación urbana y territorial	24
Figura 2. Tipos de Rotondas	27
Figura 3. Flujograma para Determinar Nivel de Servicio de una Arteria Urbana	37
Figura 4. Mapa General de la Zona de Estudio e Intersecciones Semaforizadas	42
Figura 5. Ubicación Fotográfica del Sitio de Estudio	43
Figura 6. Localización de la Zona de Estudio	44
Figura 7. Mapa de Zonas Atractores de Tráfico	45
Figura 8. Mapa de Clasificación de las Vías	46
Figura 9. Sentidos de Circulación	47
Figura 10. Mapa Tipo de Pavimentó de las Vías	48
Figura 11. Mapa de Paraderos de Buses	49
Figura 12. Esquema con los Puntos de Aforo	52
Figura 13. Movimientos Aforados en la Avenida Carrera 60 con Avenida Calle 63	53
Figura 14. Histograma Flujo Vehicular en la Avenida Carrera 60 con Avenida Calle 63	55
Figura 15. Composición Vehicular HMD en la Avenida Carrera 60 con Avenida Calle 63	55
Figura 16. Configuración de la Red Vial Vehicular	59
Figura 17. Rutas de Decisión para la Situación Actual de la Glorieta	60
Figura 18. Rutas de decisión Solución a Desnivel Sobre la Calle 63	61
Figura 19. Rutas de decisión Solución a Desnivel Sobre la Carrera 60	61
Figura 20. Configuración de Nodos de Evaluación Dentro del Modelo de Simulación	62

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Plano de intersección estado actual	75
Anexo B. Plano de solución a desnivel sobre KR 60	76
Anexo C. Plano de solución a desnivel sobre CL 63	77
Anexo D. Plano de perfil de la solución a desnivel	78
Anexo E. Volúmenes vehiculares 2017	79
Anexo F. Volúmenes vehiculares proyectados para 2017	80
Anexo G. Informe de Modelación	81

## **RESUMEN**

El proyecto de investigación enfatizo una solución a desnivel en la Glorieta de la Avenida Calle 63 con Carrera 60 en la localidad de Barrios Unidos de la ciudad de Bogotá. La intersección de estudio recibe flujo vehicular de oriente, occidente, norte y sur, la congestión presentada hace que se cree la necesidad de realizar la solución de paso a desnivel.

Las etapas de investigación para la solución inicialmente es estudiar y analizar la información secundaria solicitada, realizar el plano de la intersección para con esta información procesar los volúmenes vehiculares integrando el análisis con el procesamiento de datos en el software PTV VISSIM dentro del análisis de estudio como solución a desnivel sobre la Calle 63 y la Carrera 60 optando por solucionar la vía de mayor influencia sobre la intersección.

Palabras claves:

## INTRODUCCIÓN

En primer lugar, Clavijo (2016) sustenta que Bogotá tiene una infraestructura vial que consta de la interacción de múltiples rutas primarias, secundarias y locales, caracterizada por una fuerte movilidad y escenarios complejos, estipulando que el tema urgente de evaluación es reducir la siniestralidad y la congestión del tráfico diariamente, porque existen varios factores que ralentizan el flujo vehicular, ya que para el tráfico provocan retrasos en el tiempo de viaje de los conductores, peatones y otros participantes del tráfico urbano, debido especialmente al aumento de 124.000 coches privados al año y 1.500 vehículos de transporte público al año, razón por la que los viajes en la ciudad se han visto muy afectados.

Por otro lado, Lupano y Sánchez (2009) exponen que la demanda de infraestructura social en los países en desarrollo ha aumentado particularmente, por lo que muchas economías latinoamericanas han reanudado un crecimiento significativo desde 2003, gracias al aumento de los ingresos de los residentes y a los precios asequibles de los automóviles, especialmente los de segunda mano, debido al aumento de los índices alrededor de ingresos y vehículos como resultado del progreso tecnológico en el siglo XX., manifestado como un fenómeno de motorización, que ha llevado a la región con el mayor registro de pérdidas y muertes por accidentes de tránsito en el mundo.

Según el Registro Distrital Automotor (RDA), En 2012, Bogotá registró la circulación de 2 millones de autos, buses, camionetas y camiones. La oferta vial existente aumentó alrededor de 0.4% anual, lo cual es muy bajo comparado con la tasa de crecimiento de vehículos del parque, es decir 6%. congestión del tráfico durante las horas pico (6: 00-8: 30 de la mañana y 3: 00-7: 30 de la tarde), independientemente de las medidas tomadas en determinados corredores viales. (RDA, 2012) Según el concepto del transporte como elemento básico del desarrollo económico de una sociedad, un país o una región, sin la mejor implementación de este mecanismo, la sociedad no puede lograr el máximo aprovechamiento de sus recursos y la máxima productividad de las personas, impulsando la formulación de diversas mejoras que pueden mejorarse Razones para las estrategias de movilidad vial urbana, como ciertas áreas de Bogotá, aspecto que motiva la intencionalidad principal de la presente investigación, estipulada en la construcción de una propuesta enfocada en la construcción de un puente en la glorieta ubicada en la carrera 60 con calle 63.

El presente proyecto estipula inicialmente la construcción de un marco teórico que fundamenta varios factores que representan la resolución de los objetivos propuestos, como es el caso de los niveles de movilidad presentes en la ciudad, , así como las generalidades estipuladas alrededor de las rotondas que se posicionan dentro de la ciudad. Frente a la metodología, se determinaron varios componentes que son representados bajo un estándar cualitativo, fundamentado por diversas herramientas para el registro del flujo vehicular y para el modelamiento, mediante el software PTV VISSIM.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

El crecimiento acelerado de las ciudades lleva a la búsqueda constante de diseños viales que mejoren el tránsito y flujo vehicular, es por esto que, al revisar la literatura, en primer lugar, desde el carácter internacional, investigaciones como la realizada por Segolaa y Oladeleb (2016), explican como a medida que las ciudades crecen el número de vehículos también lo hace, por tanto, las carreteras están cada vez más interconectadas y la congestión del tráfico tiene un impacto negativo cada vez mayor en la movilidad y la eficiencia de la red de carreteras, situación ésta que sigue siendo una preocupación debido al aumento de la población de automóviles y el comportamiento humano, es así que, según los autores, al tratar de buscar soluciones o alternativas para mejorar dicha problemática, antes que nada se deben realizar conteos de tráfico en calles e intersecciones, en diferentes momentos del día y de la semana, ya que los datos recolectados permiten identificar áreas de alta densidad y sus respectivos tiempos, para a partir de ahí, reasignar o rediseñar el sistema de red de carreteras, mejorar las instalaciones y evaluar la efectividad de la introducción de una infraestructura como solución para la congestión del tráfico vehicular.

En este sentido, se ha observado como algunas de las soluciones para mejorar el tránsito y flujo vehicular ha sido la construcción de puentes y rotondas en intersecciones viales, teniéndose por ejemplo el estudio realizado por Salamaka y Fross (2016), en el cual se destaca que los puentes obviamente cumplen múltiples funciones, por lo que a menudo se consideran un indicador del progreso en la capacidad técnica y las habilidades de ingeniería, razón por la cual, muchos puentes urbanos se convierten en la infraestructura más importante en algunas ciudades, tenido un impacto significativo en su percepción y dado lugar a cambios sustanciales en la configuración del paisaje. Así mismo, explican que el funcionamiento fluido y ordenado de los asentamientos urbanos en crecimiento, requiere la construcción de nuevos puentes y vías asociadas, que a menudo determinaban todo el trazado urbano de la ciudad, por lo cual, su diseño debe realizarse previendo no solo el crecimiento urbano sino el vehicular.

Por otro lado, González y otros (2018) en su aportación al libro “Construcción y Gestión de Infraestructura”, reconocen que todas las estructuras son parte de la infraestructura y cada una trabaja en conjunto. Los puentes toman un papel especial, debido a su función de conectar dos puntos diferentes, de soportar las cargas de tráfico de la carretera, atravesar cualquier obstáculo y realizar una comunicación eficaz entre los destinos; razón por la cual su proceso de planificación, diseño y construcción busca pasos lógicos y necesarios, dado que cada estructura tiene diferentes requisitos a cubrir, tales como espacio libre, flujo de tráfico, geometría y características del lugar a construir; aspectos éstos a tener

imprescindibles durante el diseño y construcción de un puente dentro de las ciudades.

Así mismo, se destaca el trabajo realizado por Castro et al. (2018) el cual busca determinar si Ecuador cuenta con una normativa técnica propia y actualizada para el diseño de puentes de vehículos, ya que se debe recurrir a estándares internacionales, destacando entre ellos los parámetros sustentados por el AASHTO, con el cual se propuso el diseño del método AASHTO LRFD para la realización del puente de losa en Manta, destacando que el trabajo demuestra la importancia de tener información actualizada sobre la población y las características viales de las ciudades para el diseño del puente, llegando a la conclusión que el tamaño correcto de la estructura de éste dependerá del proyecto que se esté ejecutando, considerando principalmente la longitud del puente y el nivel de la losa.

Por su lado, Blandón (2017) desarrolló su trabajo denominado “Estudio de Factibilidad del Proyecto, Construcción de un puente vehicular entre los barrios los encuentros y villa el Carmen, en el municipio de Jinotega” el cual consistió en la construcción de un puente vehicular, una estructura que permite que los vehículos y peatones fluyan de manera segura, en este caso cruzando un río. El estudio se realiza en base a especificaciones técnicas, presupuestos y materiales de construcción calificados, y los recursos que el municipio pueda utilizar para la obra, evaluando la facilidad de construcción de la misma, y cómo ésta ayudará al intercambio permanente entre los barrios, también suministra una descripción de la obra a realizar, su importancia para el desarrollo regional, cronograma de actividades, costos del proyecto, beneficiarios, etc., aspectos que, se deben tener en cuenta para el diseño y ejecución de un proyecto de gran envergadura. Por otro lado, se pudo establecer que las obras viales complementarias incrementan la rentabilidad social del puente, porque los vecinos toman una actitud responsable y pagan impuestos para seguir viendo los avances de su departamento.

Ahora bien, con respecto al contexto colombiano, inicialmente se menciona la investigación de Carmona et al (2016), la cual determina que debido a la congestión del tráfico en la rotonda de la Calle 50 en la Avenida Sur de Pereira, se necesita un eje PU17, por lo cual el propósito del proyecto fue mejorar la infraestructura de la región de Antioquia, dar paso a la construcción de puentes vehiculares y promover la comunicación entre las distintas ciudades y departamentos del país; para lo cual se aplican los principios básicos del modelo matemático puente, es decir, construcción del modelo, análisis del modelo, e interpretación del análisis matemático. Apoyándose en el uso del programa STAAD PRO se realizaron y aplicaron procedimientos teóricos y prácticos para realizar los estudios preliminares necesarios para modelar el puente en la rotonda Calle 50 en Avenida Sur, Pereira, Provincia de Risaralda. Al final de la ejecución del proyecto, se comprueba que el eje PU17 está fabricado según el sistema constructivo en voladizo continuo y cumple con todos los estándares de calidad y especificaciones estipuladas por ANI. Asimismo, también se completó satisfactoriamente el plano de registro entregado

según el estudio estructural, y se determinaron la carga, tensiones y deformaciones del puente, incluyendo el cálculo de elementos y sistemas estructurales, para la construcción del puente.

De otra parte, Junco y Zambrano (2021) exponen a través del documento Propuesta de diseño de puente peatonal sobre la Av. Boyacá con calle 12 B, desde la identificación del problema, hasta la reducción de la siniestralidad y la mejora de la circulación vial en la zona. Los problemas que sustentan este trabajo incluyeron la alta tasa de accidentes que se produjo en la sección de VA. Boyacá, ubicada entre Calle 9 y Calle 13, salvo colisiones entre vehículos, describiendo que son los peatones los que más participan, ya que un alto flujo vehicular genera presas y aumenta el tiempo de recorrido, por lo que el proyecto se enfoca en buscar la mejor solución para establecer el diseño más adecuado para la zona a intervenir para reducir dichas dificultades. Al finalizar, se pudo establecer que, durante el diseño estructural, el proyectista debe tener en cuenta las especificaciones normativas y regulaciones vigentes según sea el caso, razón por la cual se adoptó el Estándar de Diseño de Puente Columbia LRFD CCP-14, dado el nivel de confianza en el diseño y la reducción en la posibilidad de ocurrencia de ciertos tipos de fallas estructurales. Así mismo, que, al modelar a través de un software, debe tener cuidado al insertar datos, ya que cualquier tipo de error en algunos puede afectar en gran medida el resultado de cálculos como por ejemplo la resistencia final, dando como resultado un diseño estructural incorrecto, afectando el tiempo de ejecución u operación.

Ahora bien, en cuanto a investigaciones relacionadas con rotondas, a nivel internacional se tiene la realizada por Devasurendra et al., (2014), en la cual se explica que la introducción de una rotonda es un método probado para minimizar las demoras y los riesgos en una intersección, debido a la reducción en el número de puntos de conflicto, la implementación de la regla de ceder el paso, la circulación unidireccional y la velocidad reducida debido al desplazamiento lateral. Así mismo, que, el rendimiento de la rotonda puede degradarse si no se toman precauciones durante las fases de diseño o de operación; razón por la cual, los autores concluyen que el diseño moderno de las rotondas otorga una alta prioridad al control de velocidad a través de características geométricas como la desviación en la entrada, el radio de curva limitado para ralentizar naturalmente todos los movimientos y reducir la distancia requerida para ingresar a los vehículos.

Adicionalmente, el estudio de Mututantri et al. (2015), explica que las capacidades de las carreteras se evalúan mediante la recopilación de datos relacionados con los flujos vehiculares predominantes y la recopilación de otra información de apoyo tanto al día actual como proyectados para los próximos 20 años. A partir de los cálculos de capacidad realizados con los datos de campo, se evidencia si las carreteras de la zona de estudio cubrirían las futuras demandas del tráfico. Así mismo explican que, una solución para aliviar los problemas de transporte como iniciativa para separar los flujos de tráfico es mediante la construcción de pasos

elevados, el cual se realiza considerando un movimiento de tráfico intenso y que su ubicación no obstaculice los cruces existentes en la carreteras o vías, además se debe considerar la ubicación del paso elevado en función de las condiciones operativas imperantes. Por otro lado, en el estudio también se destaca que las rotondas son una solución adecuada para gestionar el flujo de tráfico debajo del paso elevado, y que un diseño adecuado de ésta se debe realizar con una plantilla de giro, teniendo en cuenta además el equilibrio de objetivos en competencia como la seguridad, el rendimiento operativo y la accesibilidad para todos los usuarios.

Por otro lado, el documento generado por Pulido y Gómez (2018), para analizar relación a la capacidad y nivel de servicio de la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá, definiéndose la capacidad como el número máximo de vehículos en la carretera que conducen en ambas direcciones en el mismo tramo y dentro de un tiempo especificado, y el nivel de servicio como la calidad de la libertad de conducción y la facilidad de maniobra en el flujo de tráfico proporcionado por la carretera para los usuarios. Para la realización del trabajo se analizó el flujo de tráfico en cada ramal que constituye la rotonda estudiada utilizando tres métodos no convencionales, francés, danés y setur, para comprobar que la intensidad de los vehículos entrantes no supera la capacidad máxima de cada ramal. Con los datos obtenidos se encontró que la hora pico fue entre las 5:30 pm y las 6:30 pm, en el cual el nivel de los vehículo estaba más concentrado; determinándose de esta manera, que los métodos no convencionales como el francés, el danés y el setur no se recomiendan para la investigación de islas redondas, porque estos métodos no están diseñados para analizar el volumen de intersecciones con altos flujos de tráfico, además de señalar que, debido a la concentración de estudiantes y áreas industriales, la mayor salida de automóviles se encuentra ahora en la calle 63 de este a oeste.

Observándose con estos antecedentes que las ciudades, especialmente las metrópolis a menudo terminan teniendo un déficit en sus vías y carreteras, debido al crecimiento acelerado de las mismas y de entrada de vehículos, generando problemas de movilidad y tránsito, viéndose la necesidad de mejorar el flujo de las vías, teniendo que una buena opción para esto es la construcción de infraestructuras alternas como las glorietas o rotondas y los puentes vehiculares, los cuales generan dinamismo en la movilidad, sin embargo, estas investigaciones también dejan claro, que el diseño y construcción de estas alternativas, no debe hacer sin previa planificación en la cual es indispensable incluir el análisis de diversos factores como el volumen de vehículos en diferentes horas de día lo que permite establecer la capacidad requerida y el rendimiento operativo para que satisfagan las necesidades actuales y especialmente se ajusten a las futuras.

## 1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

**1.2.1 Descripción del problema.** Como se ha mencionado el crecimiento acelerado de las ciudades generan automáticamente el aumento de vehículos y por tanto el crecimiento del tráfico en las diferentes vías y carreteras, según las Naciones Unidas “hoy en día, el 55% de la población mundial vive en áreas urbanas y se espera que alcance el 68% en 2050” (Insider Studios & HERE Technologies , 2019, párr. 2), a medida que más personas acuden a las ciudades de todo el mundo, los sistemas de transporte están llegando al límite, teniéndose como resultado congestiones, contaminación, accidentes, estrés y una calidad de vida en declive

En este sentido, Lange (2011) determina que el mayor impacto ocurre en las grandes metrópolis y corredores de transporte, en este sentido vale la pena señalar que la sociología urbana tradicional no considera el enorme impacto de los automóviles en el cambio de hábitos de los residentes, que se ha observado desde la década de 1980, puesto que el patrón de asentamiento poblacional experimentado por América Latina ha alcanzado el porcentaje de urbanización en Europa y Oceanía, destacando que en la actualidad, la movilidad es una parte básica de la cultura urbana, no solo porque brinda funciones de accesibilidad entre diferentes áreas de la ciudad, sino principalmente como factor de desarrollo político, económico y social cultural en sí mismo, que aparece en los modelos modernos, como consolidación y equilibrio de recursos entre la centralidad y movilidad de la organización, funcionamiento y expansión de los grandes centros urbanos.

Alrededor de ciudades como Bogotá, Amézquita et al (2016), determinan que el objetivo principal de moverse de un lugar a otro se ve obstaculizado por diferentes aspectos de sus operaciones, como los relacionados con el largo tiempo de viaje, la baja calidad del servicio, el exceso de oferta de vehículos (congestión del tráfico), el estacionamiento de autos desactualizados, la contaminación, entre otros, dificultando el desarrollo de sistemas de transporte eficientes y aumenta los altos costos de transacción de toda la ciudad. Del mismo modo, también existen intereses del sector privado, que permean la dinámica del mercado donde los empresarios buscan aumentar la cantidad de vehículos para obtener mayores ganancias. En este caso, el estudio señala que el TPC (Transporte Público Colectivo) de Bogotá es uno de los desafíos a resolver en la mejora del sistema de operaciones a través de buses (44%), minibuses (32%) y minibuses (24%).

Al respecto, Alfonso (2013) expone que el exceso de oferta de vehículos, como la extensión de la ruta a largo plazo y el aumento del tiempo de viaje, conduce al flujo de circulación en la ciudad, esto se debe a que se desperdicia una parte considerable de la energía diaria que se utiliza para movilizar a los habitantes urbanos, porque no genera riqueza, por el contrario, produce una serie de efectos sociales adversos. En rigor, se ha producido un repunte en la generación de liquidez que ha llevado a la generación de factores decisivos representados por el aumento del tiempo de viaje. Esto muestra que la flexibilidad de los contratos de trabajo, las

carreteras rezagadas, el abuso de los automóviles privados y la incontabilidad en la carretera se reducen a un aumento en el número de viajes.

En ese sentido, señalando las dificultades de movilidad presentes en la ciudad de Bogotá, esta investigación se posiciona para establecer los índices de relevancia que permitan justificar la búsqueda de alternativas que puedan ayudar a mejorar esta problemática en algunas zonas de la ciudad, como resulta ser la glorieta ubicada en la carrera 60 con calle 63, donde el flujo vehicular en varias franjas horarias es muy voluminoso y afecta la circulación del sector de manera significativa, obstaculizando el paso de los autos en un sendero donde muchas imprudencias han provocado diversos niveles de accidentalidad.

Dentro de la zona, Pulido y Gómez (2018) determinan que en el corredor de la calle 63, especialmente desde la carrera 50, se presentan otro tipo de dificultades, puesto que los congestionamientos vehiculares obligan a los usuarios a permanecer en el mismo lugar y a estar expuestos a un ruido ensordecedor, que afecta a los oídos porque el ruido generado es superior a 65 decibeles, lo que aumenta el riesgo de pérdida auditiva gradual; por otro lado, el atasco no solo afecta a los usuarios, sino que también afecta al medio ambiente, porque las emisiones de gases que emiten los vehículos tienen un gran aporte a la contaminación ambiental, pues la mayor salida de vehículos se encuentra concentrada a causa de las diversas zonas estudiantiles, industriales y deportivas que se ubican en el sector.

Por otro lado, Castillo y Moncada (2017) determinan que las intersecciones de Bogotá presentan congestionamiento evidenciando cada día el problema que va en aumento, se ha identificado también en algunas situaciones la problemática puede radicar en algunos semáforos en los cuales presentan fallos y esto genera un gran problema en la hora de movilidad lo cual los conductores de los vehículos les toca conducir con precaución, una de las soluciones es de mejoramiento de tiempos en los semáforos, o también en la edificación de glorietas que no fueron construidas mediante un buen diseño geométrico que asegure la funcionalidad de esta infraestructura, aspecto que hace disfuncional la implementación de las glorietas en la intersecciones viales.

Bajo este sentido, comprendiendo las diversas problemáticas que representan estos aspectos dentro del sector donde se ubica la glorieta, se busca una alternativa que ayude a mejorar estos índices de circulación vehicular, mediante la construcción de un puente que ayude a regular factores de movilidad como los mencionados, mejorando de esta manera los estándares que promueven el flujo por completo de la zona, comprendiendo todos los demás trayectos que se conectan a esta arteria vehicular, porque se ha podido observar que este sector trae consigo varias dificultades que se conectan entre sí, las cuales afectan por completo el movimiento de los autos en diversas horas del día.

**1.2.2 Formulación del problema.** De acuerdo con lo expuesto anteriormente, la pregunta problema estipulada dentro del presente trabajo es: ¿Cómo sustentar la necesidad de implementar una solución a desnivel en la glorieta ubicada en la carrera 60 con calle 63, localizada en la ciudad de Bogotá?

### **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 Objetivo general.** Analizar a nivel funcional la intersección y exponer la relevancia de construir un puente vehicular en la glorieta ubicada en la carrera 60 con calle 63 localizada en la ciudad de Bogotá D.C.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Recopilar y analizar información suministrada por las entidades para el estudio de la intersección.
- Realizar un análisis de tránsito de los modos de transporte que utilizan la glorieta para establecer el nivel funcional actual.
- Modelar y determinar la conveniencia de una intersección a desnivel sobre la glorieta ubicada en la carrera 60 con calle 63.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Con respecto a la justificación, se expone que, bajo un estándar ligado al territorio, Romero y Lugo (2018) señalan que la descripción de la movilidad puede determinar claramente su impacto en la calidad de vida de las personas: significa que las personas y los bienes pueden ser trasladados de manera digna, oportuna, confiable y económica para satisfacer las necesidades básicas de vivienda, educación y salud, a través de un transporte urbano adecuado; de igual modo, estipulan que uno de los temas más importantes de la vida urbana contemporánea es el transporte urbano, que requiere políticas específicas, por ello, sobre las variables que lo afectan, se han identificado los siguientes factores: accesibilidad regional, densidad, mix de usos del suelo, concentración, conectividad vial y vial, diseño vial, condiciones de transporte peatonal y ciclista, calidad del transporte público, estacionamiento, a disponibilidad y manejo del terreno las parcelas, el diseño del sitio, la gestión de la movilidad y los planes de crecimiento inteligente integrados, aspectos que afectan paulatinamente las condiciones de movilidad de un determinado sector.

Es así que, se debe ser conscientes que ciudades como Bogotá no pueden eliminar la congestión del tráfico de la noche a la mañana, sin embargo, a través de la investigación y el uso de nuevas herramientas como software de simulación, se puede ayudar a gestionar la mejor alternativa de mejoramiento. Desarrollar estrategias de planificación vial a través de la lente de datos actualizados de

movilidad y condiciones de tráfico, las ciudades pueden hacer que las carreteras y autopistas sean más seguras y menos congestionadas, ayudando a los conductores a navegar de manera más eficiente, pues, las decisiones basadas en información actualizada y especialmente proyectada, son holísticas y sostenibles ya que el tráfico urbano es complejo y se debe contemplar todas las variables posibles para hacer que los flujos de tráfico en las ciudades sean más eficientes y fluidos, al tiempo que se reduce el ruido y la contaminación del aire.

En ese sentido, la presente investigación se desarrolla para presentar una alternativa que lleve a mejorar los índices de movilidad de la glorieta ubicada en la carrera 60 con calle 63, la cual sigue siendo una de las vías más congestionadas dentro de la zona, ya sea por aspectos que son representados por un alto flujo vehicular, o por una indebida gestión de los implementos que se han posicionado para hacer funcional el cruce de la intersección, aspectos que no solo promueven que este mecanismo mantenga la intencionalidad que representa en la vía; así mismo se ha querido centrar el interés en el mejoramiento de la velocidad y fluidez de los caminos que se ven integrados entre si dentro del sector, y así fortalecer la infraestructura de transporte para satisfacer las necesidades de sus residentes.

Bajo este interés en el sector, cabe en la necesidad de hacer uso de los conocimientos que se han desarrollado durante el tiempo que se ha estudiado en la academia, demostrando que se puede solventar una problemática vinculada al área de estudio, mientras que se pueda retroalimentar en el marco de acción que ofrece la universidad para brindar las bases adecuadas para el posicionamiento de una propuesta integral que mejore la calidad de vida de una determinada población, como aquella representada por quienes transitan habitualmente en la zona de estudio.

## **1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES**

Los alcances de la investigación abarcan por completo la medición del estándar vehicular que fluye constantemente en la glorieta o rotonda que se ubica entre la carrera 60 con calle 63, determinado únicamente los parámetros que determinan las razones que provocan diversas congestiones y demás problemáticas que se presentan en la zona, así como las consideraciones que deben tenerse en cuenta para la hipotética estructuración de una alternativa como un puente vehicular sobre esta infraestructura vial, para dinamizar y optimizar los índices de tráfico que pasan por la zona.

Con respecto a las limitaciones, se estipula que no se tomarán en cuenta otras vías que se encuentren aledañas para el posicionamiento de otros mecanismos que ayuden con el flujo vehicular del sector, además de señalar que este análisis de tránsito solo se establece para determinar las necesidades para la construcción del puente en la zona, pero este no se desarrolla para otro tipo de índices que pueden ayudar a comprender el tipo de vehículos que transita por ahí, con respecto a un

estudio vehicular que determine dentro de estándares relacionados a la movilidad con demasiada precisión, porque solo se requieren los índices de peso y transición que se desarrollan frecuentemente dentro de la glorieta.

De igual modo, se destaca que este proyecto no se establece para la construcción de un puente, ya que se postula como una propuesta que podría llevarse a cabo para la hipotética solución de estas problemáticas de congestión vial que se presentan habitualmente allí.

## **1.6 MARCO DE REFERENCIA**

### **1.6.1 Marco teórico.**

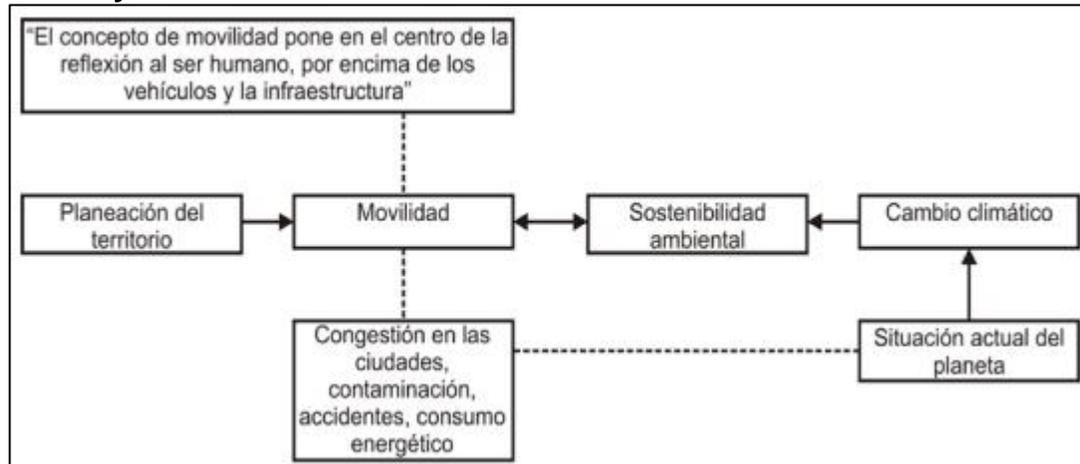
**1.6.1.1 Movilidad urbana.** El transporte según Perra et al. (2017) es una de las funciones de planificación urbana más importantes que asegura la movilidad dentro de un área y el acceso a los diversos usos del suelo, por lo cual, las características de las ciudades modernas crean altos requisitos y niveles de calidad en la movilidad, la cual es definida en relación a la libertad que tiene las personas para moverse teniendo acceso a diferentes medios para tal fin, siendo éstos compatibles y eficientes con la preservación del medio ambiente, la teoría también ha destacado que a movilidad se condiciona principalmente por los niveles socioeconómicos de la población, por lo que su limitación puede llegar a inferir con las condiciones de acceso a bienes y servicios urbanos disminuyendo la calidad de vida de ésta, por tanto, “el planeamiento de transporte debe ser dirigido por la movilidad de sus ciudades, una vez que la movilidad de torna con requisito esencial para el funcionamiento de su ciudad moderna” (Velásquez, 2015, p. 46).

Dado lo anterior, el enfoque convencional de movilidad, se ha centrado en la optimización de los flujos de tráfico, así como en el aumento de la capacidad y la velocidad de viaje al proporcionar infraestructura vial adicional, requiriéndose para un proceso de planificación del transporte, la interdisciplinariedad que integra la planificación del uso urbano / territorial, la evaluación de impactos intensiva, las preocupaciones ambientales y las necesidades sociales, la perspectiva a corto, mediano y largo plazo bajo un modelo que integre además la sostenibilidad del transporte que requiere además de un cambio de paradigma, la evaluación continua de las condiciones de movilidad actuales ya que, “lo que se mide se maneja y un tema que no se puede medir claramente será difícil de mejorar” (Perra et al., 2017, p. 330). Se tiene entonces, que la movilidad urbana debe responder a las necesidades actuales y futuras de movilidad en las ciudades, desde un interés temprano en atender el aumento de la propiedad y el uso de automóviles a través de una importante expansión de carreteras, evitando dificultades en la capacidad de tráfico.

Por otro lado, Moreno et al. (2017) explican que movilidad urbana se convierte en una forma de planificación territorial, por tanto, se deben generar modelos basados

en nuevos conceptos que aporten a un sistema más sostenible como, por ejemplo, la sostenibilidad ambiental, el cambio climático, la situación actual, elementos como congestión de las ciudades, accidentalidad entre otros (véase la Figura 1):

**Figura 1. Esquema de la movilidad como elemento articulador de la planeación urbana y territorial**



Fuente. [1]

La infraestructura para el transporte, de acuerdo con Mendoza-Sánchez et al., (2015) hace referencia a estructuras físicas básicas que son necesarias para un correcto funcionamiento de un sistema de movilidad urbana, ya que deben interconectarse de manera tal que proporcionen la movilidad de personas y mercancías. Según el Instituto de Desarrollo Urbano IDU (2015), cualquier tipo de infraestructura vial a nivel urbano, debe responder por un lado a un modelo de movilidad y por otro a un modelo de ciudad, es decir, estructurado a partir de sistemas estructurales territoriales en armonía con estructuras ecológicas, socioeconómicas y espaciales.

Lo ideal es que todo proyecto de infraestructura vial urbana responda no solo a un modelo de movilidad, sino a un modelo de ciudad, que se organice a partir de los sistemas estructurantes del territorio y busque armonización con la Estructura Ecológica Principal y la Estructura Socioeconómico y Espacial. Adicionalmente, el sistema vial, debe incluir en su planificación calzadas vehiculares, diseños integrales que se vinculen a las redes viales e infraestructuras propias de transporte, es decir:

A las redes de transporte masivo, colectivo y de alimentación, las facilidades para el transporte público individual, los terminales y estaciones, los diferentes tipos de paraderos de buses, etc. Además, debe integrarse la infraestructura del subsistema de regulación y control, entendida como señalización, red de semaforización y sistemas tecnológicos de vigilancia y control del tráfico. Por último, es indispensable incluir la infraestructura del subsistema vial peatonal compuesto por los andenes,

plazas, parques, cruces peatonales (senderos, cebras, puentes, túneles), alamedas, plazuelas y otros. (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2015, p. 25).

Estos aspectos son, los que a nivel teórico y de diseño geométrico, se deben tener en cuenta para el diseño inicial de un sistema de movilidad vial, dado que, es con este tipo de información que se delimita y aporta condiciones y requerimientos específicos para el proyecto y que éste sea integral y contemple todos los aspectos que permitan una movilidad adecuada y eficaz.

**1.6.1.2 Rotondas dentro de la movilidad urbana.** Una rotonda moderna es uno de los tres tipos de intersecciones circulares. Según Jones (2015) las intersecciones circulares incluyen rotondas, rotondas de tráfico vecinal y rotondas modernas. Existen diferencias significativas entre los tres tipos de intersecciones circulares. Las rotativas tienen los diámetros más grandes, más ángulos perpendiculares en los accesos, límites de velocidad circulatoria más altos y, a menudo, no hay una regla de prioridad definida para el tráfico circulatorio sobre el tráfico de entrada. Las rotondas de tráfico de los vecindarios a menudo se construyen en las carreteras locales con el propósito de calmar el tráfico, incluyen una isla central elevada y canalización elevada, la deflexión de aproximación rara vez se usa y, a menudo, no pueden acomodar camiones grandes. Las rotondas modernas, por otro lado, se caracterizan por el control de rendimiento en la entrada, movimiento circular en sentido antihorario para todo el tráfico alrededor de una isla central, accesos canalizados y características geométricas especiales que crean un entorno de baja velocidad.

Gallardo (2005) expone que una rotonda urbana o una rotonda representa cualquier intersección equipada con un obstáculo central, que es esencialmente intransitable y está rodeado por una carretera de circunvalación. La carretera de circunvalación tiene un sentido de giro a la derecha donde se encuentran varias calles, que se rigen por reglas de prioridad especial, estableciendo que los vehículos con la intención de entrar en el circuito deben ceder el paso a las personas que ya están en el circuito. Por tanto, considerando las numerosas configuraciones supervisadas por otro tipo de prioridad (por ejemplo, por semáforos), no son rotondas en sentido estricto, pero aun así se consideran fáciles de analizar.

Las rotondas se hallan en diferentes situaciones y entornos: núcleos de población, zonas residenciales (dispersas o compactas), zonas industriales, accesos a ciudades o pueblos, etc. Según la situación, sus características (tamaño, tratamiento de entrada / salida, paisajismo, etc.) pueden presentar más o menos los aspectos urbanísticos. La intersección marca el punto donde cambia el entorno, la entrada desde el pueblo al núcleo urbano, puesto que la rotonda sirve como un punto de referencia para mostrar a los conductores que están abandonando un medio por otro y para recordarles a las personas que la forma en que se mueven también es diferente.

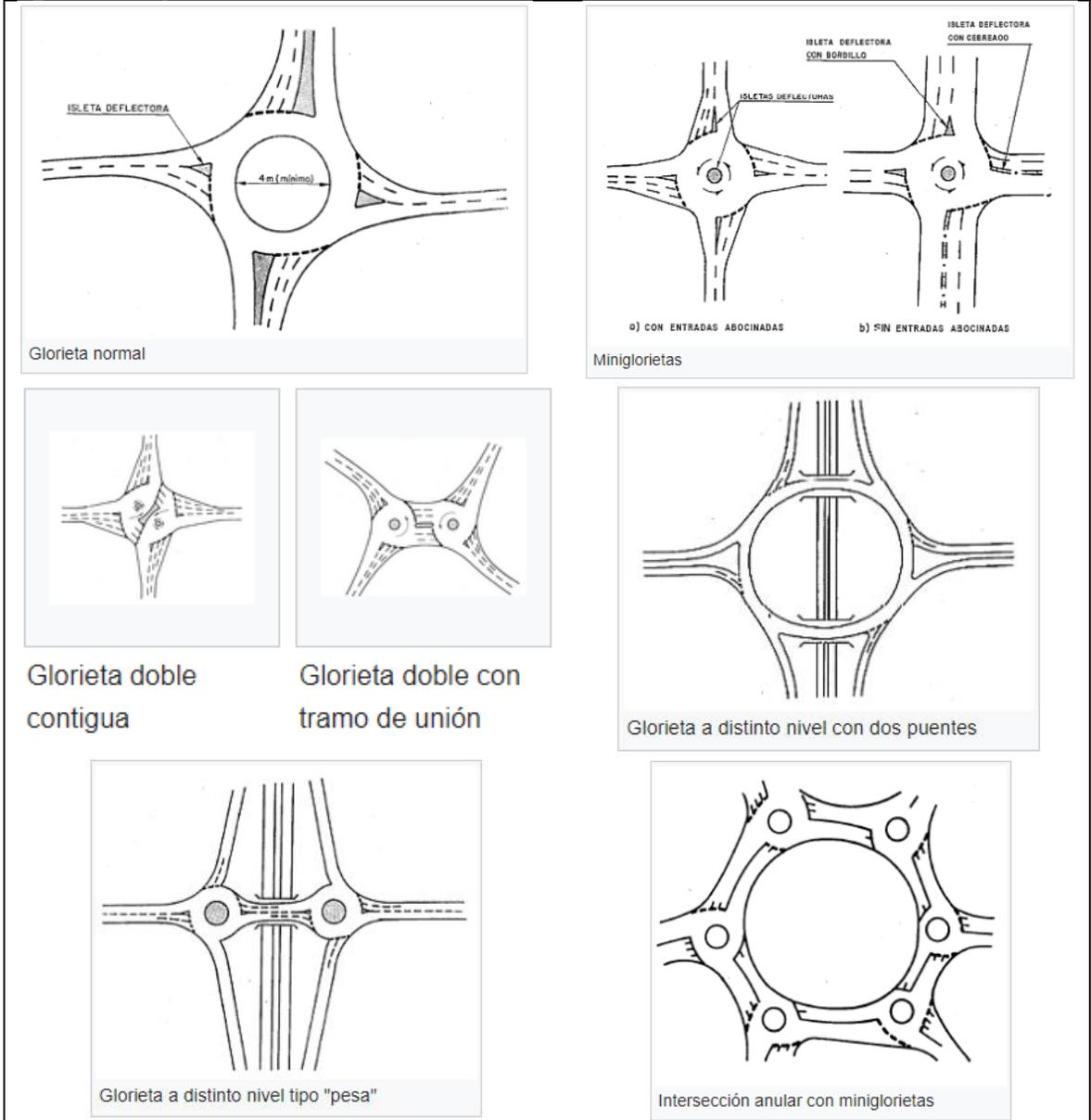
Inicialmente se expone la rotonda a la salida de una vía urbana segregada, ya que, por lo general, las intersecciones urbanas o los círculos de población (aislados de la red urbana) utilizan rotondas a diferentes alturas en las entradas y salidas para crear una serie de nodos en importantes carreteras de recolección de agua, lo que permite que estos nodos se conecten a las carreteras urbanas. Así mismo, se encuentra la rotonda en zona industrial, ubicados a la entrada de una zona industrial, donde el flujo de tráfico de la carretera de largo recorrido que se acerca a la rotonda suele ser muy importante (recoge la mayor parte del tráfico de vehículos ligeros y pesados en todo el polígono) y se produce a altas velocidades; por tanto, el principal problema es conseguir un buen flujo de tráfico y buenas condiciones de seguridad, puesto que hay muy poco tráfico para peatones y ciclistas (a menos que la intersección esté cerca del núcleo atractivo de dichos usuarios, como centros comerciales).

Otro tipo de rotonda más pequeña se construye en las intersecciones entre calles donde el polígono es menos importante, dependiendo de la composición del tráfico y la voluntad de regularlo, como las rotondas entre carreteras de alta intensidad en las ciudades, donde la circulación general es importante, incluidos peatones, ciclistas y ciclomotores, por lo que el diseño de rotondas debe ser un compromiso entre la buena capacidad y la poca seguridad de los usuarios, al mismo tiempo, las características icónicas se pueden mejorar creando espacios para la calidad del paisaje.

Gallardo (2005), también destaca la rotonda en ciudad (simple punto de giro), en donde la gestión precisa del tráfico en las rotondas se debe a una variedad de razones: los giros a la izquierda representan una gran parte del tráfico de la intersección, y es posible que no se requiera el ajuste del semáforo o que la intersección requiera un punto; además se destaca la rotonda en centro de ciudad (plaza), siendo una importante intersección en el centro de la ciudad para ordenar el espacio circundante. La gente puede reunirse en las terrazas alrededor de la carretera de circunvalación, o en los parques o plazas de la isla central.

Por otro lado, están las rotondas entre carreteras de poco tráfico en áreas urbanizadas: dado que menos vehículos pasan por la intersección, se pueden adoptar características amigables para los peatones, como reducir el ancho de las entradas, salidas y bucles, e incluso permitir el acceso a la isla central (donde puede crear espacios de ocio para los ciudadanos). Por último, se establecen las rotondas en áreas residenciales (urbanización suburbana o residencial), las cuales permiten el ajuste automático del tráfico en la intersección (no se requieren semáforos), al tiempo que brindan seguridad y tranquilidad a sus residentes (las rotondas están obligadas a reducir la velocidad del automóvil mientras reducción de emisiones de gasolina y ruido) (véase la Figura 2):

**Figura 2. Tipos de Rotondas**



Fuente. Construmatica (2020)

Por otro lado, Gallardo (2005) determina que la tarea principal de estas rotondas es garantizar el funcionamiento normal de la intersección. No existe una correspondencia clara entre esta función y un tipo específico, estimando que la forma geométrica de la rotonda se adapta a cada intersección y puede ser redonda u ovalada según el recorrido prioritario y el trazado de la calle de la intersección: cuanto más ramales o mayor sea el intervalo entre estos ramales, mayor es la rotonda. Por lo general, la mejor solución posible para una intersección es una rotonda, de igual forma, para intersecciones con cinco o más ramas, incluso con

control de semáforo, las ventajas de las rotondas son obvias; este enfoque de resolver cuatro o más intersecciones de ramales a través de rotondas de semáforo es común (especialmente en entornos urbanos) porque es más fácil de implementar y más fácil de monitorear que otros tipos de intersecciones, y esto se debe a que está hirviendo. serie de intersecciones en forma de "T" con carreteras prioritarias de un solo sentido.

Además, a través de la solución rotativa, se reducen los puntos de conflicto y su funcionamiento es muy intuitivo, lo cual es bien conocido por todos los conductores; por otro lado, la ubicación de la rotonda hace que se homogeneicen todos los pasos a la intersección de la calle, lo que facilita la inserción de diferentes vías con diferentes características, lo que también permite introducir cambios transversales en una misma vía. Esta flexibilidad otorgada por las rotondas impulsa a los planificadores de la ciudad a utilizarlas en aquellos puntos en los que desean recoger el tráfico de diferentes calles y dirigirlo a una carretera, y viceversa, para distribuir todo el tráfico de una vía de recogida a una rotonda. La intersección actúa como un nodo de distribución, situación dada en las entradas y salidas de algunos túneles y viaductos urbanos; sin embargo, también se utilizan en entornos urbanos más característicos, como la expansión poblacional, como centro de una red vial radial.

El aumento de la población y el desarrollo urbano, junto con la generalización del uso del automóvil, ha provocado conflictos urbanos entre los automóviles y las ciudades; de hecho, a finales del siglo XX, el nivel de tráfico de la ciudad había alcanzado un nivel insostenible y la ciudad tuvo que inventar nuevas formas de deshacerse del molesto tráfico. Entre ellos, la variante urbana es la más destacada, no es más que una nueva vía, antes de llegar a la entrada del pueblo se desvía el tráfico de paso o de largo recorrido para evitar que entre en el núcleo y evitar molestias innecesarias, además de mejorar el tiempo de recorrido de los vehículos que los utilizan (y no tener que transitar por vías urbanas con restricciones de velocidad que implican) saliendo de las antiguas vías de entrada a la localidad como de entrada a calles o tráfico local.

Gallardo (2005) destaca que generalmente, estas variantes suelen incluir conexiones a carreteras u otras carreteras secundarias conectadas a pueblos, de modo que el territorio entre las variantes y la población gana un punto de comunicación, lo que genera un impulso de crecimiento y orienta al pueblo a expandirse; de esta manera en el futuro los enlaces de la variante con las carreteras secundarias acaban por convertirse en puntos de conexión con la futura trama viaria de la población.

Por ello, si las previsiones de crecimiento así lo indican, se recomienda considerar el papel que pueden jugar estos enlaces en el futuro, pero no dejes de entender cuáles son sus funciones actuales. En las ciudades más grandes, este problema también se ha vuelto obvio, por lo que es necesario contar con carriles circulares o

algunas intersecciones alrededor de la ciudad, permitiendo que las vías interurbanas más importantes pasen por la ciudad, permitiendo el paso o rutas de tráfico de largo recorrido, impulsando el acceso a la ciudad a través de conexiones a otras partes de la estructura de la ciudad.

**1.6.1.3 Pasos a desnivel.** Un paso a desnivel hace referencia según Suárez Joya y Pantoja Santander (2005) al cruce de dos o más vías terrestres en diferentes niveles, permitiendo el tránsito simultáneo de varias corrientes de tránsito sin que éstas se mezclen; éstos se realizan principalmente en intersecciones, siendo, por tanto, adaptaciones construidas como infraestructura que no interrumpa el tráfico cuyo propósito es reducir el número de conflictos de movilidad y tráfico de manera directa (Mendoza et al., 2015), razón por la cual, se construyen en función a los volúmenes de tránsito, “desarrollando todos los movimientos posibles con el mínimo de puntos de conflicto, aumentando la capacidad de las intersecciones a la vez que mejora las condiciones de seguridad, manteniendo y mejoramiento sus características funcionales” (Almanza Rodríguez y Mora Contreras, 2015, p. 23), dado que su propósito es la separación de los flujos de tránsito a través de diferentes niveles de vías inferiores o superiores, las cuales utiliza estructuran entre las que se encuentran puentes, túneles, viaductos entre otras.

Generalmente, un paso a desnivel requiere una inversión alta, por tanto, su diseño y construcción debe considerar los siguientes elementos:

**Tabla 1. Elementos a tener en Cuenta para el Diseño y Construcción de Pasos a Desnivel**

Elemento	Descripción
Funcionalidad	Ciertas carreteras como autopistas y vías de primer orden, porque tienen limitación de accesos las primeras, o por la categoría y características que les atribuyen los planes viales nacionales, regionales o departamentales, requieren la construcción de intersecciones a desnivel.
Capacidad	Si la capacidad es insuficiente en una intersección, una alternativa por considerar, en el estudio de factibilidad, es separar niveles, así haya alternativas posibles a nivel
Seguridad	Puede ser la seguridad, unida a otras razones, uno de los motivos para construir un enlace y no una intersección
Factibilidad	Por las elevadas inversiones que implica, en general, la construcción de una intersección a desnivel, es necesario el estudio de factibilidad, en el que debe analizarse, si a ello hubiere lugar, la construcción por etapas

Fuente. Suárez Joya y Pantoja Santander (2005)

Por otro lado, los pasos a desnivel suelen clasificarse en diferente tipos y formas en función a si están total o parcialmente separadas. “En el primer caso, todos los intercambios están separados en dos niveles —aunque pueden presentarse casos de tres o hasta cuatro—; en el segundo, sólo se separa un camino a desnivel y el otro es controlado mediante señalamientos. En la práctica las variantes de las

intersecciones a desnivel son muy variadas, (por ejemplo: las intersecciones en forma de trébol, en forma de diamante, con glorietas, etc.)” (Mendoza et al., 2015, p. 15) (véase la Tabla 2):

**Tabla 2. Tipos de Intersección a Desnivel**

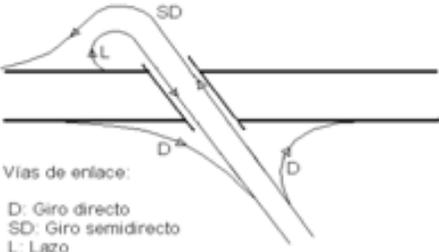
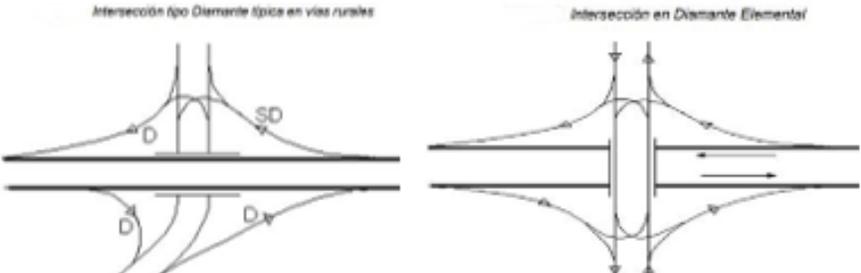
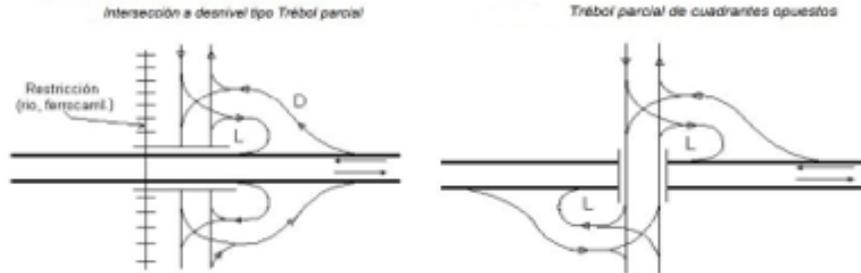
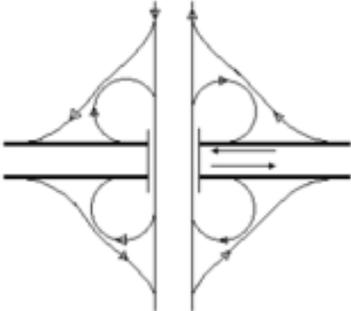
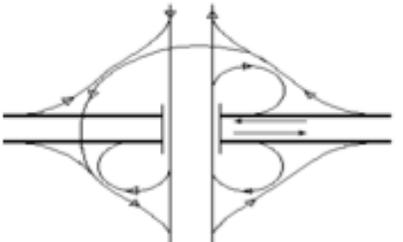
Tipo	Descripción
<p><b>Intersecciones tipo T y Y (Trompeta)</b></p>	<p>Intersección de tres ramales en la que los giros a la derecha y a la izquierda se resuelven por medio de ramales directos, semirectos y vías de enlace. La intersección a diferente nivel en forma de trompeta, es aconsejable para conectar una carretera transversal a una principal.</p>  <p>Vías de enlace: D: Giro directo SD: Giro semirecto L: Lazo</p>
<p><b>Diamante</b></p>	<p>Se usa tanto en vías urbanas como en vías rurales. Se trata de una intersección de cuatro ramales con condición de parada, en el que todos los giros a la izquierda se resuelven con intersecciones. Este tipo de intersección puede disponer también de estructuras adicionales para reducir el número de puntos de conflicto de las intersecciones a nivel en la carretera secundaria. Normalmente es preferible que la vía principal ocupe el nivel inferior, con cuya disposición las vías de enlace son más cortas por ser la pendiente favorable para la aceleración y desaceleración de los vehículos que entran y salen.</p>  <p><i>Intersección tipo Diamante típica en vías rurales</i>      <i>Intersección en Diamante Elemental</i></p>
<p><b>Tréboles parciales</b></p>	<p>Se define el trébol parcial como una intersección de cuatro ramales con condición de parada, en el que se ha hecho continuo un giro a la izquierda mediante una vía de enlace. En general el trébol parcial, es apropiado cuando sólo pueden utilizarse algunos cuadrantes del área de cruce por existir obstáculos topográficos en las vías rurales, lo que ocurre frecuentemente. En el trébol parcial las entradas y salidas a la derecha suelen corresponder siempre a la vía principal, para lo cual es preciso ocupar cuadrantes del mismo lado de la vía secundaria o cuadrantes opuestos por el vértice.</p>  <p><i>Intersección a desnivel tipo Trébol parcial</i>      <i>Trébol parcial de cuadrantes opuestos</i></p> <p>Restricción (no, ferrocarril.)</p>

Tabla 2. Continuación

Tipo	Descripción
<p><b>Tréboles completos</b></p>	<p>Los tréboles completos, son aptos para vías rurales de importancia similar (autopistas, vías de primer orden) por la considerable área que ocupan. Son intersecciones de cuatro ramales y triple circulación, requieren una sola estructura y todos los giros a la izquierda se resuelven por medio de vías de enlace y los giros a la derecha mediante ramales directos. Por su conformación, un trébol mejora la velocidad de diseño, con lo que aumentan los radios y el recorrido; por lo que no convienen vías de enlace de excesivas dimensiones. El límite de un trébol suele ser la capacidad de las vías de enlace, que rara vez funcionan bien con más de un carril y normalmente se saturan con volúmenes de 1000 a 1200 vehículos por hora.</p> 
<p><b>Intersecciones a desnivel direccionales</b></p>	<p>Se utilizan cuando una autopista se cruza con otra o se une a ella. En estos casos la velocidad de proyecto es alta en toda su longitud, con rampas y enlaces curvos de radios grandes; por lo que el área que ocupan es grande. Las intersecciones a desnivel direccionales pueden ser más o menos complicadas.</p> 

Fuente. Suárez Joya y Pantoja Santander (2005, p. 26-28)

Los autores explican que la selección del tipo de paso a desnivel debe darse teniendo en cuenta varios factores, como por ejemplo los volúmenes de tránsito en diferentes horarios, así como su carácter y composición, la velocidad de la vía, topografía, el costo como los principales entre otros.

### 1.6.2 Marco contextual.

**1.6.2.1 Niveles de movilidad en la ciudad de Bogotá.** Inicialmente Vargas (2018) destaca que la movilidad en Bogotá se ha considerado uno de los problemas más comunes en la ciudad, determinados por varios indicadores para monitorear el desarrollo de los principales elementos de la movilidad en Bogotá y la región, como la demanda (las características y modo de viaje en Bogotá); oferta (pública y privada), desde características operativas de la infraestructura de transporte); sostenibilidad (indicadores de accidentalidad y calidad del aire); aspectos financieros (fuentes de financiamiento, asignación presupuestaria, aspectos tarifarios y costos de la red vial); y percepciones de los usuarios del tráfico (sobre el tiempo, estado de la red vial), señalización, control, cultura cívica, calidad del aire, conveniencia móvil, etc., por otro lado, se destaca que el sistema de transporte público de Bogotá es utilizado por la mayoría de los residentes, excepto quienes habitan en los estratos más alto, y viajan en autos privados. Asimismo, más de 1

millón 400.000 personas del nivel más bajo caminaron todos los días, con una distancia media de 3,23 kilómetros.

Por otro lado, la Secretaría de Planeación (SDP) determina que el problema del tráfico en Bogotá no es el mejor, debido a la falta de nuevos medios de transporte y al mejoramiento de los medios de transporte actuales, puesto que el flujo de automóviles privados es cada vez mayor, lo que genera congestión vial. Es importante señalar que, considerando la cantidad de usuarios del transporte público y la cantidad de vehículos, la infraestructura vial no es la más adecuada, teniendo en cuenta el nivel de vehículos que andan a cada hora, ya que aproximadamente 1 millón de automóviles privados circulan por la red vial de Bogotá, lo que satisface el 20% de los viajes diarios de la ciudad, estimándose que más de 20.000 vehículos utilizados para brindar servicios públicos representan el 64% de los viajes, mientras que el sistema de transporte público y los taxis representan el 16% de la demanda diaria. (SDP, 2019).

Alrededor de los aspectos negativos que se pueden comprender dentro de la movilidad en Bogotá, como son la congestión vehicular, la siniestralidad vial y la contaminación ambiental, inicialmente el CONPES 4034 destaca que entre 2016 y 2019, la tasa de mortalidad por accidentes de tránsito en Bogotá se redujo en un 12%, de 7,5 muertes por cada 100.000 habitantes a 6,7, siendo esta última la tasa de mortalidad en cinco años más baja de la ciudad en los últimos años; por otro lado, se expone que el número de muertes por accidentes de tránsito en Bogotá ha tenido una tendencia a la baja, de 586 en 2016 a 506 en 2019, estimando que el número de heridos va en aumento, pasando de 14.511 en 2016 a 18.478 en 2019 [2].

Así mismo, se destaca que el actor vial más afectado en el 2019 fue el peatón con el 49% de participación. Además, de acuerdo con la relación entre vehículos y actores viales involucrados en el número de muertos, el desempeño observado de peatones en motocicleta y peatones de vehículos ligeros es particularmente prominente, con un aumento del 16% y una disminución del 39% en 2016 y 2019, respectivamente; de igual forma, también es destacada la relación entre los motociclistas que fallecieron interactuando con vehículos de carga, con una disminución del 39% entre 2016 y 2019; de igual manera, el número de muertes en accidentes de tránsito importantes se ha reducido en 8 personas, de 259 en 2016 a 2019 de 251 personas. El informe también destacó la participación de peatones y usuarios de motocicletas, quienes representaron el 27% y 39% del total de muertes en 2019, respectivamente, sobre los ciclistas que murieron por accidentes de tránsito, hubo un aumento del 11% en 2016 y un aumento en 2019 hasta un 20%.

Alrededor de los factores ambientales, el CONPES destaca que, en Bogotá, las fuentes móviles generan alrededor del 80% de las emisiones de material particulado (PM10 y PM2.5) de la combustión (1.847 toneladas / año de PM10 y 1.677 toneladas / año de PM2.5), que es aproximadamente el 40%, observando que la tecnología

pre-92 de Europa domina la flota de vehículos de la industria (52%), y aproximadamente un tercio de la flota tiene más de 10 años. En 2018, el transporte público de la ciudad emitió aproximadamente el 12% de material particulado y el 3,2% de dióxido de carbono; por ende, se han estado utilizando tecnologías de emisión cero o bajas emisiones para actualizar las flotas del SITP a fin de incluir flotas con menor impacto ambiental, y de los 2.366.695 autobuses con componentes troncales, el 90% cumple con los estándares Euro V.

En términos de congestión vehicular, este problema es obvio en términos de afectar el tiempo de viaje y la velocidad promedio de circulación. Por lo tanto, aunque la proporción de redes de carreteras en mal estado ha ido disminuyendo, de un nivel de casi el 50% en 2006 a menos del 15% entre 2016 y 2019, la inversión continua para restaurar las buenas condiciones no es suficiente, afectando severamente el tiempo de viaje y las operaciones de transporte público, especialmente en las redes de transporte mixtas, incluidas las redes de transporte utilizadas por el SITP.

Además de lo mencionado, se destaca que el aumento del uso de automóviles y motocicletas provocado por factores como la distribución desigual del uso del suelo y los cambios en las preferencias de viaje de las personas también tiene un impacto en la congestión, cuyo principal impacto es el aumento del tráfico y el tiempo de viaje. En 2019, el tiempo de viaje promedio de las personas que viven en Bogotá fue de 52 minutos, en comparación con 39 minutos en 2011, señalándose que antes de la pandemia, la velocidad media de los vehículos de la ciudad durante las horas pico estaba entre 21,8 y 25,7 km / h.

En comparación con la velocidad promedio de la ciudad de 35 km / h<sup>99</sup>, el costo de congestión anual se estima en 11.3 billones de pesos<sup>100</sup>, lo que representa el 4.37% del PIB de la ciudad, estimándose de paso que el valor del tiempo extra de viaje debido a la congestión que experimentan los vehículos de carga que entran y salen de la ciudad es de aproximadamente 1.4 billones de pesos al año. Cabe destacar que el CONPES expone que, de continuar la tendencia de aumento del tiempo de tránsito y reducción de la velocidad debido a un mayor uso ineficiente de automóviles y motocicletas, los costos sociales seguirán aumentando y la competitividad y la calidad de vida de Bogotá y la región se verán significativamente afectadas.

**1.6.2.2 Los puentes vehiculares en la ciudad de Bogotá.** Según la Lista de Puentes 2020-I realizada por el Inventario de Desarrollo Urbano (IDU), la localidad con mayor número de puentes es Usaquén con 102 estructuras, seguida de Suba con 79, Kennedy con 78, Engativá con 76 y Puente Aranda 73, Fontibón 71, Ciudad Bolívar 62 y 59 en Barrios Unidos. Estas 8 ubicaciones representan aproximadamente el 60% del total de puentes en el Distrito de Columbia en Bogotá. Por el contrario, las localidades de Candelaria y Los Mártires tienen 7 y 8 puentes respectivamente, y son las que tienen el menor número de estructuras,

representando aproximadamente el 1,5% de los 992 puentes de Bogotá. (IDU, 2020).

Este informe realizado por el IDU destaca que alrededor de los 427 puentes peatonales en el Distrito, Alrededor del 80% de estos edificios se distribuyen en 10 ubicaciones: Usaquén (47), Engativá (45), Kennedy (43), Suba (33), Fontibón (33), Puente Aranda (32), Barrios Unidos (30), Teusaquillo. (27), Ciudad Bolívar (26) y Chapinero (20); Usaquén y Engativá son las localidades con más puentes peatonales (47 y 45). Por otro lado, las localidades con menos pasarelas son Candelaria y Sumapaz, que cuentan con 2 y 1 edificaciones en sí.

Con respecto a la lista de puentes vehiculares distribuidos en 20 localidades bogotanas, las áreas con más estructuras de este tipo son: Usaquén, Sumapaz y Suba, con 55, 49 y 46 puentes respectivamente; en cambio, las localidades con menor número de puentes vehiculares son Candelaria y Los Mártires con 5 y 3 edificios respectivamente. De los 565 ejes, 145 están en carretera, mientras que localidades como Usaquén (18), Fontibón (20), Chapinero (18) y Kennedy (18) representan las localidades con mayor número de puentes en esta situación.

Referente a la distribución de puentes en la red vial local, cerca del 24% (236) de los puentes de la ciudad de Bogotá DC están ubicados en la red vial, de los cuales el 13% (127) corresponden a puentes peatonales y el 11% (109) a puentes de vehículos. Por otro lado, la lista de puentes tiene las condiciones para georreferenciar la estructura en función del uso del terreno en el que se ubica, al establecerse que hay 24 puentes en condiciones de suelo, correspondientes a 8 puentes peatonales y 16 puentes para vehículos; en condiciones de suelo rural, hay 5 puentes para peatones y 85 puentes para vehículos; por ende, en condiciones de suelo urbano, hay 414 puentes para peatones y 464 puentes para vehículos.

A niveles generales, el IDU (IDU, 2020) destaca que para junio de 2020, el listado de puentes en el Distrito de Columbia en Bogotá corresponde a 992 estructuras, de las cuales aproximadamente 43% (427) corresponden a puentes peatonales y 57% (565) corresponden a puentes vehiculares, además, se expone que entre las 20 localidades del distrito, la localidad con mayor número de puentes es Usaquén, que representan aproximadamente el 10,3% de los puentes de la ciudad, además, de los 102 puentes, 47 corresponden a puentes peatonales y 55 corresponden a puentes vehiculares. La localidad con menor número de puentes es Candelaria, con 7 construcciones, lo que representa aproximadamente el 0,71% del número de puentes en Bogotá.

Sobre la distribución regional de 427 puentes peatonales, la ciudad de Usaquén lidera este indicador con 47 estructuras, que representan el 11% de los puentes peatonales existentes en Bogotá. De igual manera, la localidad que presenta el menor número de puentes peatonales es Sumapaz con tan solo 1 puente, el cual corresponde aproximadamente al 0.23% de los puentes peatonales de la ciudad,

mientras que la característica de distribución de ubicación de las 565 construcciones, Usaquén tiene 55 infraestructuras, lo que equivale al 9,7% de los puentes existentes en Bogotá.

Asimismo, la localidad con menor número de ejes es Los Mártires con 3 puentes, lo que equivale aproximadamente al 0,53% de los ejes en Bogotá, destacándose que uno de los indicadores que caracterizan el listado de puentes en la ciudad está relacionado con los tipos de obstáculos que sobrepasan la estructura del puente, los cuales se dividen en caminos, cuerpos de agua o caminos y cuerpos de agua hasta el momento, por ello, en cuanto a las condiciones de los puentes viales, 363 de los 992 puentes en Bogotá se encuentran en esta condición, de los cuales 218 son puentes peatonales y 145 son puentes para vehículos.

### 1.6.3 Marco Conceptual.

**1.6.3.1 Clasificación de las vías.** El artículo 165 del Decreto 190 de 2004 (Plan de Ordenamiento Territorial) establece el subsistema vial está compuesto por las siguientes mallas:

**Tabla 3. Clasificación Mallas Viales**

Tipo de Malla	Descripción
Malla vial arterial principal	Es la red de vías de mayor jerarquía, que actúa como soporte de la movilidad y la accesibilidad urbana y regional y de conexión con el resto del país
Malla arterial complementaria	Es la red de vías que articula operacionalmente los subsistemas de la malla arterial principal, facilita la movilidad de mediana y larga distancia como elemento articulador a escala urbana.
Malla vial intermedia	Está constituida por una serie de tramos viales que permean la retícula que conforma las mallas arteriales principales y complementarias, sirviendo como alternativa de circulación a éstas, permite el acceso y la fluidez de la ciudad a escala zonal.
Malla vial local	Está conformada por los tramos viales cuya principal función es la de permitir la accesibilidad a las unidades de vivienda.
Malla vial rural	Vías que comunican los asentamientos humanos entre sí, entre veredas, con la ciudad y la región. En el territorio rural, se definen tres tipos de vías: Principales, Secundarias y corredores de movilidad local rural (CMLR).
Intersecciones	Son soluciones viales, tanto a nivel como a desnivel, que buscan racionalizar y articular correctamente los flujos vehiculares del sistema vial, con el fin de incrementar la capacidad vehicular, disminuir los tiempos de viaje y reducir la accidentalidad, la congestión vehicular y el costo de operación de los vehículos.

Fuente. Secretaria Distrital de Planeación (2019). Vías, Transporte y Servicios Públicos.

**1.6.3.2 Velocidad de recorrido.** La velocidad de recorrido, global o de viaje, es aquella que se obtiene de “la división de la distancia recorrida de principio a fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó en su recorrido, teniendo en cuenta en el tiempo las demás que se ocasionen en la operación relacionadas con deducciones de velocidad y paradas provocadas por la vía, así como por el tránsito y los dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor” (Cal & Mayor Asociados, 1994. p. 218).

Así mismo, se tiene que “la velocidad media de recorrido para cualquier tipo de vehículo, se obtiene de sumar las distancias recorridas y dividir entre la suma de los tiempos totales de viaje. Si todos o el grupo de vehículos recorren la misma distancia, la velocidad media de recorrido se obtiene dividiendo, así, puede verse que la velocidad media de recorrido es una velocidad media espacial con base en la distancia” (Cal & Mayor Asociados, 1994. p. 218).

Finalmente, la velocidad de recorrido sirve principalmente para comparar condiciones de fluidez en ciertas rutas; ya sea una con otra, o bien, en una misma ruta cuando se han realizado cambios para medir los efectos. (Cal & Mayor y Asociados, 1994. p.218)

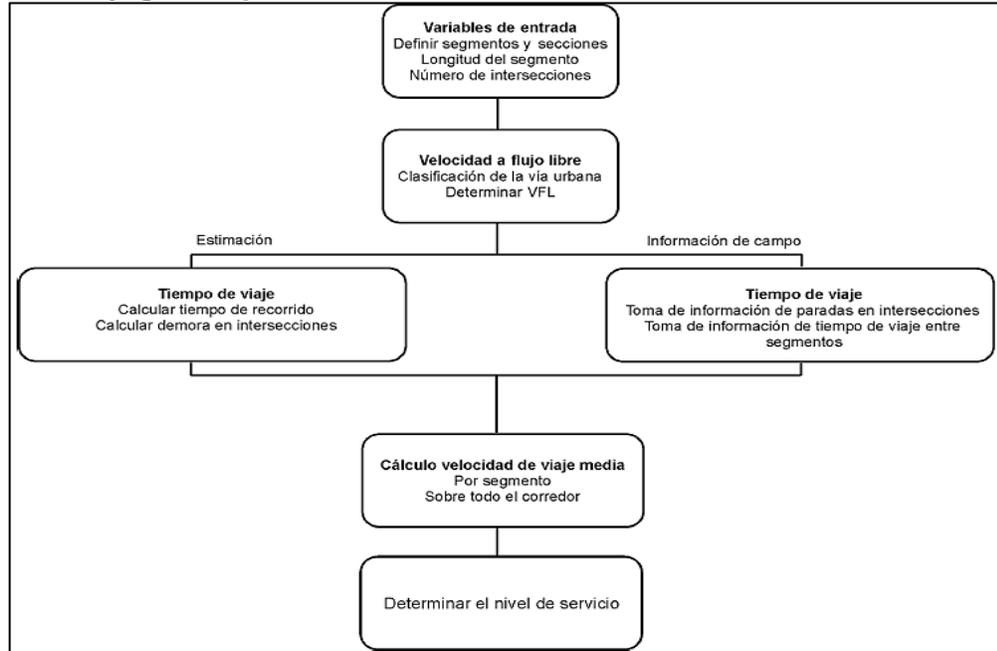
**1.6.3.3 Velocidad de marcha.** Para un vehículo la velocidad de marcha o velocidad de cruce, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento. Para obtener la velocidad de marcha en un viaje normal, se descontará del tiempo total de recorrido, todo aquel tiempo en que el vehículo se hubiese detenido, por cualquier causa. Por lo tanto, esta velocidad por lo general, será de valor superior a la de recorrido. (Cal & Mayor y Asociados, 1994. p.218)

**1.6.3.4 Nivel de servicio.** De acuerdo con el manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y transporte de Bogotá D.C, para determinar el nivel de servicio para una arteria urbana está basado en el promedio de la velocidad de viaje que realiza el recorrido en el segmento de vía en cuestión a partir de los siguientes datos. (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. & Cal & Mayor y Asociados, 2005)

- Velocidad media básica
- Tiempos de recorrido
- Demoras ocasionadas por dispositivos de control (semáforos)

Con referencia al manual, éste presenta un flujograma para determinar el nivel de servicios para arterias urbanas (véase la Figura 3):

**Figura 3. Flujograma para Determinar Nivel de Servicio de una Arteria Urbana**



Fuente. Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados (2005). Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte.

Según este manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte, las vías urbanas se clasifican de acuerdo con las variables anteriormente nombradas con las letras A hasta la F como se muestra a continuación véase la Tabla 4):

**Tabla 4. Clasificación de Vías Urbanas por Nivel de Servicio**

Nivel de Servicio	Descripción
Nivel de servicio A	Describe principalmente operaciones de flujo libre a velocidades medias de recorrido; en general cerca del 90% de la velocidad a flujo libre dada para cierta clase de vía. Los vehículos son casi libres para realizar maniobras en la corriente de tráfico. La demora de control no es significativa
Nivel de servicio B	Describe operaciones a velocidad media de recorrido con leves dificultades para realizar maniobras, generalmente cerca del 70% de la velocidad a flujo libre. La demora de control las intersecciones son mínimas
Nivel de servicio C	Describe operaciones estables; sin embargo, la capacidad de maniobrar y cambiar de carril en ubicaciones entre las intersecciones puede tener un poco más de restricciones que en el nivel de servicio B. Las largas colas o la descoordinación de semáforos pueden contribuir a una menor velocidad media de recorrido de cerca del 50% de la velocidad a flujo libre.

Tabla 4. (Continuación)

Nivel de Servicio	Descripción
Nivel de servicio D	Bordea un rango en que pequeños incrementos en el volumen vehicular pueden causar un aumento sustancial en la demora y una disminución de la velocidad de recorrido. El nivel de servicio D puede deberse a la mala coordinación entre semáforos, ciclos semafóricos inapropiados, altos volúmenes de tráfico o una combinación de estos factores. La velocidad media de recorrido es aproximadamente del 40% de la velocidad a flujo libre.
Nivel de servicio E	Está caracterizado por la ocurrencia de demoras importantes y una velocidad media de recorrido de cerca del 33% de la velocidad a flujo libre. Estas operaciones son causadas por una mala coordinación semafórica, alta densidad de intersecciones semaforizadas, altos volúmenes, extensas demoras en intersecciones críticas y ciclos semafóricos inapropiados
Nivel de servicio F	Está caracterizado por un flujo vehicular que opera a velocidades muy bajas, en general de un tercio a un cuarto de la velocidad a flujo libre. La congestión probablemente se debe a una intersección semaforizada crítica, con grandes demoras, altos volúmenes y largas colas.

Fuente. Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados (2005). Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte.

Con base en lo anterior, en la Tabla 5, se muestra los criterios de nivel de servicio basados en la velocidad de viaje y el tipo de vía para una arteria urbana.

Tabla 5. Nivel de Servicio para Arterias Urbanas según su Clasificación

Tipo de vía	I	II	III	IV
Rango de velocidad *	90-70 km/h	70-55 km/h	55-50 km/h	55-40 km/h
Velocidad típica	80 km/h	65 km/h	55 km/h	45 km/h
NS	Velocidad promedio de viaje (km/h)			
A	> 72	> 59	> 50	> 41
B	> 56 - 72	> 46 - 59	> 39 - 50	> 31 - 41
C	> 40 - 56	> 33 - 46	> 28 - 39	> 23 - 32
D	> 32 - 40	> 26 - 33	> 22 - 28	> 18 - 23
E	> 26 - 32	> 21 - 26	> 17 - 22	> 14 - 18
F	≤ 26	≤ 21	≤ 17	≤ 14
Nota. * Velocidad a flujo libre.				

Fuente. Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados (2005). Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte

**1.6.3.5 Estimación de velocidad.** Por otro lado, el manual establece “la estimación de la velocidad, la demora y el nivel de servicio de una vía arteria urbana o de una intersección requiere información de la configuración geométrica de la estructura y

de la demanda”, en este sentido, los datos de entrada y valores estimados contemplan los siguientes aspectos (véase la Tabla 6):

**Tabla 6. Datos de Entrada y Valores para Estimación de Velocidad**

Elemento	Descripción
Velocidad a flujo libre	Esta velocidad se usa para determinar el tipo de vía urbana y para estimar el tiempo de recorrido de un tramo, esta también llamada velocidad de viaje en vías urbanas en condiciones de bajo tráfico y con semáforos en su corredor en fase verde en todo el recorrido. De esta manera, cualquier demora que se presenten en las intersecciones semaforizadas incluso en condiciones de bajo flujo vehicular, debe excluirse en el momento de cálculo de la velocidad a flujo libre
Densidad de semáforos	La densidad de semáforos se refiere al número de intersecciones semaforizadas en el tramo de estudio en una longitud determinada
Factor de hora pico	Si no se dispone de valores locales para el factor de hora pico, se puede usar aproximaciones, para horas de congestión 0.92 es un factor razonable, en caso de que no se pueda determinar la hora pico se recomienda usar 0.88.
Duración del periodo de análisis	El periodo típico de análisis es de 15 minutos, sin embargo si la demanda crea una cola residual en este periodo (es decir una relación v/c mayor a 1,0), se deben considerar periodos análisis adicionales de 15 minutos o un solo análisis más largo que se pueda mejorar la estimación, para este caso se deben tener cuenta la cola residual de un periodo a otro, la velocidad, la demora y el nivel de servicio pueden ser estimado en cada uno de estos periodos

Fuente. Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados (2005). Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte.

Ahora bien, la velocidad se también se tiene que estimar teniendo en cuenta el flujo libre y la densidad de semáforos como se muestra en la Tabla

**Tabla 7. Estimación del Tipo de Vía para Arterias Urbanas según la Velocidad a Flujo Libre y la Densidad de Semáforos**

Tipo de vía	Velocidad
I	85 km/h
II	65 km/h
III	55 km/h
IV	45 km/h
Tipo de vía	Semáforos
I	0.5 sem/km
II	2.0 sem/km
III	4.0 sem/km
IV	6.0 sem/km

Fuente. Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados (2005). Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte.

**1.6.3.6 Determinación del tiempo de recorrido.** “Existen dos componentes principales del tiempo total que un vehículo emplea en recorrer un segmento de vía dado: el tiempo de marcha y la demora de control en las intersecciones semaforizadas. Para calcular el tiempo de marcha, es necesario conocer el tipo de vía, la longitud del segmento y la velocidad a flujo libre” (Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados, 2005, p. 3-64). En la Tabla 8 se muestra la estimación de tiempo de marcha por kilómetro:

**Tabla 8. Estimación de Tiempo de Marcha por Kilómetro**

Tipo de vía	I			II			III			IV	
VFL (km/h)	90 <sup>a</sup>	80 <sup>a</sup>	70 <sup>a</sup>	70 <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	40 <sup>a</sup>
Longitud promedio	Tiempo de marcha por kilómetro (s/km)										
100 m	b	b	b	b	b	b	-	-	-	129	159
200 m	b	b	b	b	b	b	88	91	97	99	125
400 m	59	63	67	66	68	75	75	78	77	81	96
600 m	52	55	61	60	61	67	d	d	d	d	d
800 m	45	49	57	56	58	65	d	d	d	d	d
1.000 m	44	48	56	55	57	65	d	d	d	d	d
1.200 m	43	47	54	54	57	65	d	d	d	d	d
1.400 m	41	46	53	53	56	65	d	d	d	d	d
1.600 m	40 <sup>c</sup>	45 <sup>c</sup>	51 <sup>c</sup>	51 <sup>c</sup>	55 <sup>c</sup>	65 <sup>c</sup>	d	d	d	d	d

a Es mejor tener una estimación de la velocidad a flujo libre (VFL). Si no se dispone de la información necesaria, se recomiendan utilizar los siguientes valores:

Tipo de vía	VFL (km/h)
I	80
II	65
III	55
IV	45

b Si el Tipo I o II tienen una longitud menor de 400 m, se debe reevaluar la clasificación, y si sigue siendo un segmento distinto, utilizar los valores para 400 m.

c Para segmentos largos (mayores de 1.600 m) en vías tipo I y II, la velocidad a flujo libre puede usarse para calcular el tiempo de recorrido por kilómetro. Estos tiempos se observan en los accesos para segmentos de 1.600 m.

d De esta manera, las arterias urbanas de tipo III o IV con segmentos mayores de 400 m, primero deben ser reevaluadas. De ser necesario, pueden extrapolarse los valores por encima de 400 m.

Fuente. Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados (2005). Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte.

En cuanto a la determinación de la demora, se tiene que, el cálculo de la velocidad en una arteria urbana requiere hallar las demoras de control en las intersecciones. “Debido a que la función de una vía de este tipo es servir al tráfico que utiliza todo el corredor, el grupo de carriles de movimiento directo se usa para caracterizar la arteria. La demora de control para movimientos directos es el valor que se debe utilizar en la evaluación de una arteria urbana. En general, esta información debe estar disponible ya que el análisis total debe incluir el análisis separado de cada intersección semaforizada” (Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados, 2005, p. 3-65).

**1.6.4 Marco Normativo.** El marco normativo que orienta esta investigación es el siguiente:

➤Decreto 323 de 1992. Por el cual se reglamentan las zonas viales de uso público en lo referente a las áreas para el sistema vial general y para el transporte masivo, la red vial local de las urbanizaciones y el equipamiento vial.

➤Resolución 000744 de 2009. Por la cual se actualiza el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de Colombia

➤El Manual Geométrico de Vías en Colombia. El instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2008

➤Guía para el Diseño de Vías Urbanas para Bogotá. El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)

## **1.7 METODOLOGÍA**

**1.7.1 Tipo de investigación.** Es un estudio de caso de evaluación cuantitativo el cual según Hernández Sampieri et al (2014) ofrece un análisis de resultados y recomendaciones aplicables a la solución de problemáticas o toma de decisiones relacionados con el fenómeno o población estudiados, en este caso sobre las necesidades que se desarrollan en la circulación vial que se desarrolla en la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 60, mediante varios mecanismos, así como el modelaje de la solución a desnivel que se determina idóneo para el sector, sin involucrar la funcionalidad de la arteria vial que está ubicada en el sector.

**1.7.2 Fuentes de información.** Como fuentes de información primaria se tiene el inventario de tráfico vehicular de la zona de estudio. Así mismo, las estipulaciones y requisitos para el diseño vías, pasos a desnivel y puentes.

## **1.8 DISEÑO METODOLÓGICO**

**1.8.1 Etapa 1 Estudio de tránsito.** La metodología inicia con el análisis de los datos tomados de la Secretaria de Movilidad de Bogotá D.C para el tramo en estudio de la intersección de la Avenida Calle 63 con Avenida Carrera 60, para lo cual se delimita la zona de estudio con la red de semáforos y la malla vial como se puede apreciar en el siguiente mapa (véase la Figura 4). De acuerdo con lo mencionado en numeral anterior se presentan los conteos vehiculares para cada movimiento, adicional se incluyen las bases en medio magnético en el Anexo E.

Los factores de equivalencia empleados para establecer el volumen de los vehículos equivalente se encuentran de acuerdo con lo establecido por el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte en Bogotá, discriminados de la siguiente manera: Autos (1.0), Buses (2.0) y Camiones (2.5),

adicionalmente se utilizó un factor de motos (0.5) y de bicicletas (0.25) (véase la Figura 48):

**Figura 4. Mapa General de la Zona de Estudio e Intersecciones Semaforizadas**



Fuente. SIMUR SDM

**1.8.2 Etapa 2 Análisis funcional.** En esta etapa se realiza el análisis funcional de la glorieta aplicando el software PTV VISIIM, El software permite visualizar en tiempo real el comportamiento de la operación del tráfico mientras que internamente genera archivos con datos estadísticos como tiempo de viaje y longitud de cola. La precisión del modelo está soportada en la metodología empleada para simular el movimiento de los vehículos en la red, considerando el comportamiento psicofísico del conductor desarrollado por el profesor Wiedemann (1974) con distribuciones estocásticas de la velocidad y distancia de desplazamiento. Este modelo ha sido calibrado a través de múltiples mediciones de campo en la Universidad Técnica de Karlsruhe de Alemania.

A continuación, se presenta la zona de estudio a través de registro fotográfico (véase la Figura 5)

**Figura 5. Ubicación Fotográfica del Sitio de Estudio**



Fuente. El Autor

Dentro de la intersección de estudio se encuentran sitios de interés que manifiestan atraer altos flujos vehiculares como:

- Parque el Salitre.
- Biblioteca Virgilio Barco
- Parque de los Niños
- Parque metropolitano Simón Bolívar

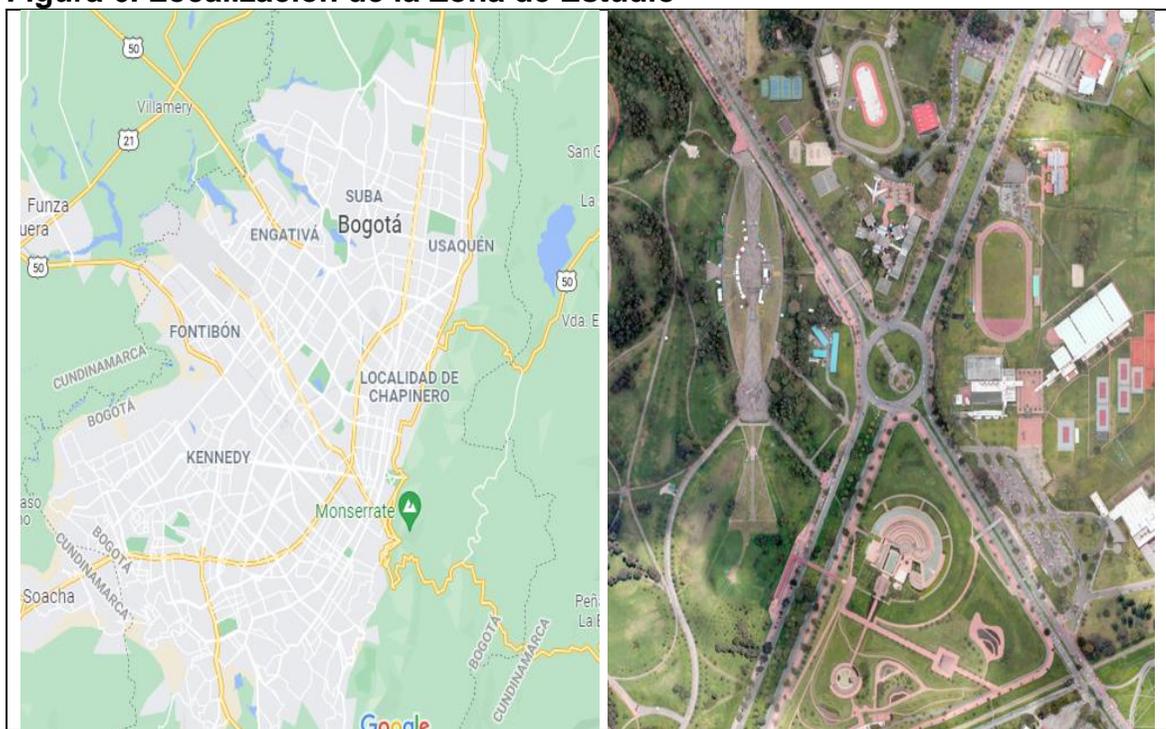
**1.8.3 Etapa 3 Modelación de solución propuesta.** La última etapa tiene que ver con la determinación bajo la modelación de la solución detallada de las opciones de paso a desnivel sobre la Carrera 60 y sobre la Calle 63, para definir las condiciones de funcionamiento de la vía con respecto a lo encontrado en la normativa, para así generar una clasificación en el nivel de servicio de la vía, para la intersección de estudio de acuerdo a los datos entregados para la Secretaria de Movilidad de Bogotá D.C. Donde a partir de este punto se realizará el estimativo de las nuevas velocidades de punto de marcha y recorrido con la reducción en el ancho del carril por cuenta de los bici carriles exclusivos y determinar así el nuevo nivel de servicio de la vía, y se plantearían la solución.

## 2. CARACTERIZACIÓN ZONA DE ESTUDIO

### 2.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA

La zona de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá-Colombia, en la localidad de Barrios Unidos, donde corresponde a la UPZ 104, Barrio La Esmeralda, en la Avenida Calle 63 con Carrera 60 como se puede apreciar en el siguiente mapa (véase la Figura 6).

**Figura 6. Localización de la Zona de Estudio**



Fuente. Google Maps (2021).

En la Tabla 9 se muestran los límites en cuanto al área de estudio en cuestión de acuerdo al mapa anteriormente mostrado.

**Tabla 9. Límites de la Zona de Estudio**

Orientación	Calle (CII)	Carrera (Kra)
Norte	72	60
Occidente	63	68
Oriente	63	50
Sur	53	60

Fuente. El Autor

## 2.2 CENTROS GENERADORES DE TRÁFICO

Se debe analizar los principales generadores de tráfico ya que éstos hacen parte de las posibles soluciones o alternativas planteadas, luego de determinar el nivel de servicio antes y después de la implementación del paso a desnivel.

Ubicado sobre la Calle 63 con Carrera 60, se le consideran centros atractores de tráfico ya que al estar ubicado sobre una vía principal y ofrecer servicios de comercio, entretenimiento y trabajo genera una acumulación de viajes como lo son en este caso El parque de los niños, El Parque Metropolitano Simón Bolívar, La Biblioteca Virgilio Barco y El centro deportivo El Salitre (véase la Figura 7):

**Figura 7. Mapa de Zonas Atractores de Tráfico**



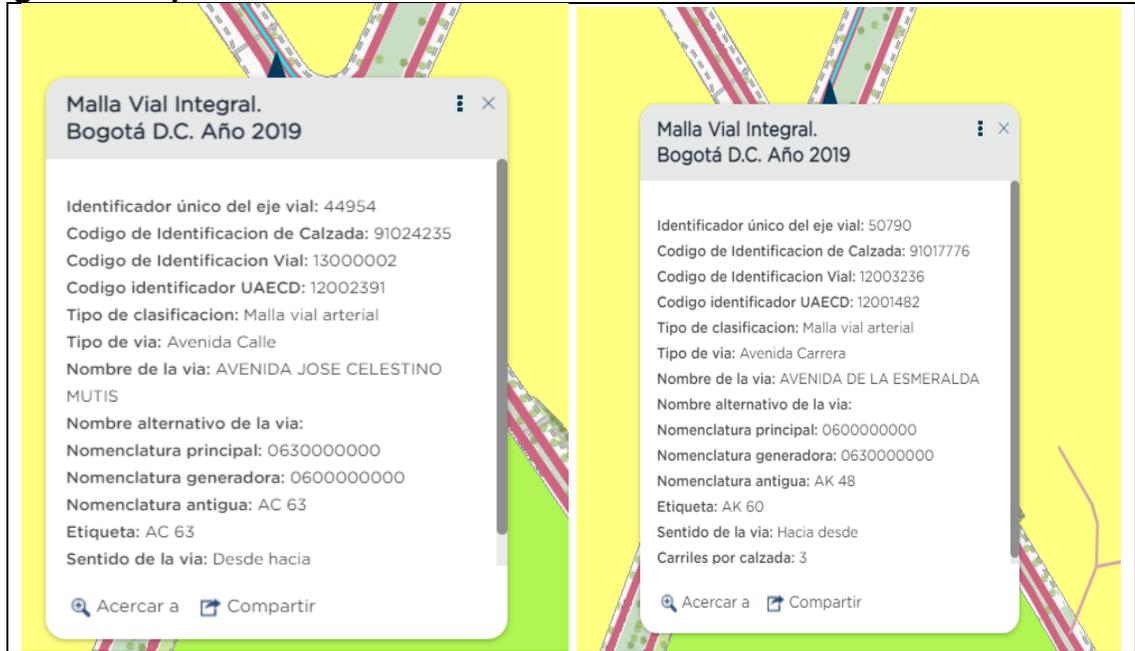
Fuente. El Autor

La información de aforos suministrados por la Secretaria de Movilidad a través del radicado 20216121888952 se puede apreciar como la mayoría de personas que transitan por carrera séptima se mueven en automóvil y moto lo cual es congruente al tipo de sector en cuestión a analizar mientras que la minoría usa el transporte público masivo.

## 2.3 CORREDORES VIALES

**2.3.1 Clasificación de las vías.** Ahora bien, teniendo en cuenta la jerarquizadas de las mallas viales establecidas en el artículo 165 del Decreto 190 de 2004, a continuación, se muestra un esquema de la zona estudiada con la respectiva clasificación de las vías que en ella se encuentran (véase la Figura 8):

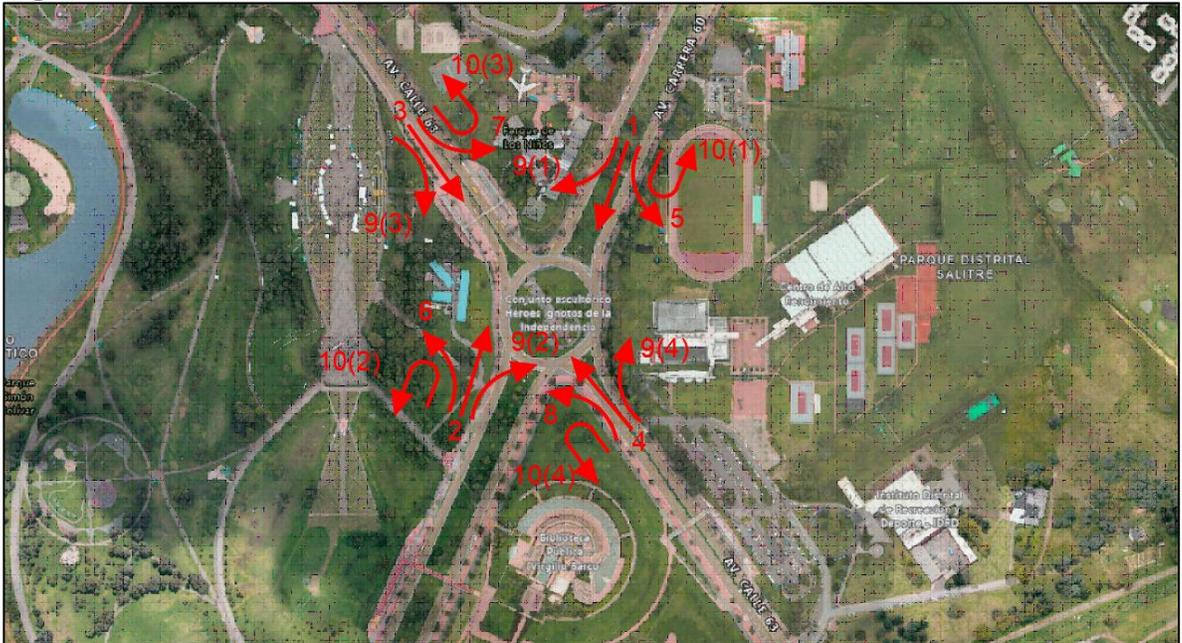
**Figura 8. Mapa de Clasificación de las Vías**



Fuente. Mapas Bogotá (2021). Malla vial integral Avenida Calle 63 con Carrera 60

**2.3.2 Intersección vial.** Para este caso se caracteriza por tener una isleta central dotada de bordillos de 4 metros o más de diámetro con entradas abocinadas que permiten la entrada de vehículos, cuentan con 3 o 4 tramos, pero funciona mejor con 3, por consiguiente, si el número de tramos ascienda a 4 la glorieta ha de ser mayor lo que conlleva a que las velocidades aumenten por tanto es recomendable que la glorieta sea de tipo doble (véase la Figura 9), según lo establecido en el capítulo 3 Capacidad y Niveles de Servicio, flujo discontinuo del Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte (Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados, 2005).

**Figura 9. Sentidos de Circulación**



Fuente. El Autor

De acuerdo con estos movimientos dentro de la glorieta son los siguientes (véase la Tabla 10):

**Tabla 10. Movimiento de la Glorieta Avenida Calle 63 con Carrera 60**

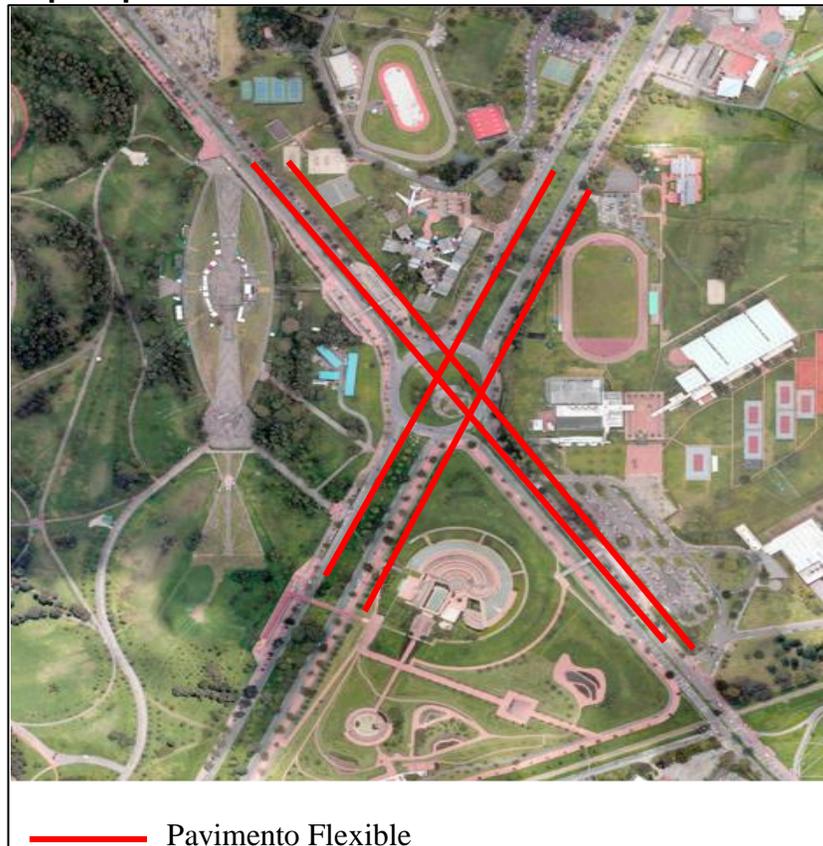
Acceso	Movimiento	Código
NORTE	Directo	1
	Giro a izquierda	5
	Giro a derecha	9 (1)
	Giro en U	10 (1)
Sur	Directo	2
	Giro a izquierda	6
	Giro a derecha	9 (2)
	Giro en U	10 (2)
Occidental	Directo	3
	Giro a izquierda	7
	Giro a derecha	9 (3)
	Giro en U	10 (3)
Oriental	Directo	4
	Giro a izquierda	8
	Giro a derecha	9 (4)
	Giro en U	10 (4)

Fuente. El Autor

**2.3.3 Estado de las vías.** Luego de realizar un análisis visual del estado actual de las vías localizadas en el área de estudio, se identificó que se encuentran en pavimentos flexible.

- Sobre la Calle 63 entre carrera 50 y Carrera 68
- Sobre la Carrera 60 entre Calle 72 y Calle 53

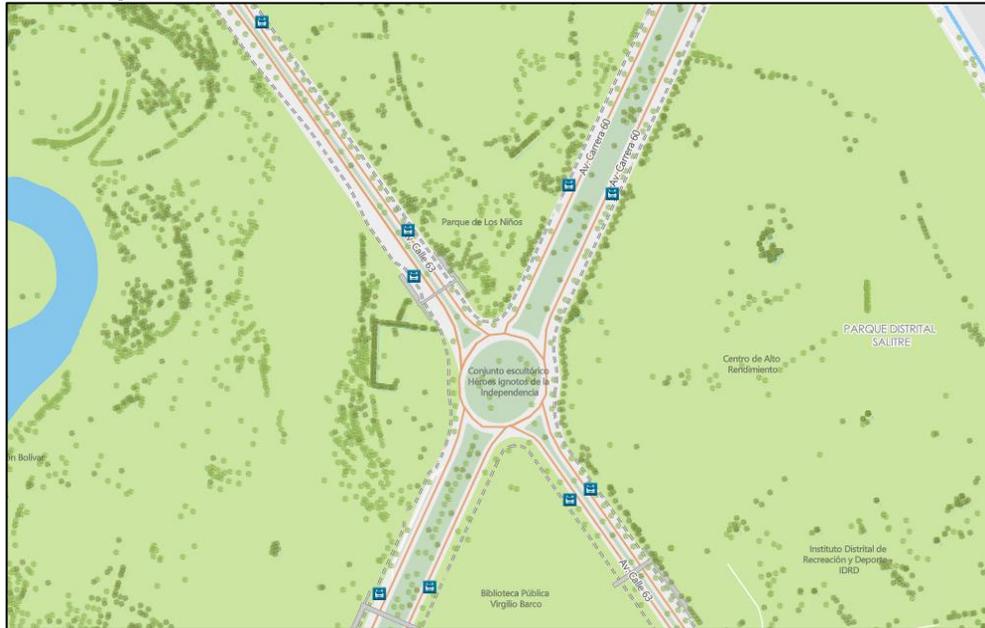
**Figura 10. Mapa Tipo de Pavimentó de las Vías**



Fuente. El Autor adaptado de Google Earth

**2.3.4 Zonas de parqueo.** Los lugares de parqueo identificados en la zona son principalmente los paraderos de los buses de transporte público SITP como se puede apreciar en la Figura 11:

**Figura 11. Mapa de Paraderos de Buses**



Fuente. Movilidad Bogotá (2021). Mapa de Paraderos de Buses

A continuación, en la Tabla 11 se presentan las rutas de transporte público que transitan por el sector y los paraderos a los cuales corresponde la ruta en el área de influencia directa.

**Tabla 11. Rutas de Transporte Público**

Paradero	Corredor	Código	Denominación	Tipo
151A05	Avenida Calle 63 Costado Norte	C41	Bachue - Germania	Urbana
		ZP-126	Villa Gloria Sauces – Villa Gladys-	Provisional
		135B	Bosque Popular – Bicentenario	Urbana
		492	Engativa - Palermo	Urbana
		59B	Cortijo - Chapinero	Urbana
		142	Engativa - Centro	Urbana
		P500	Aeropuerto – Centro Andino	Urbana
		BD906	Villa Gladys – Toberin	Urbana
		KA306	Zona Franca – Centro Andino	Urbana
		FA410	Tierra Buena – Chico Norte	Urbana
		228	Aguas Claras – Villa Teresita	Urbana
		CH131	Bilbao – Diana Turbay	Urbana
150A05	Avenida Calle 63 Costado Norte Costado oriental	C41	Bachue - Germania	Urbana
		ZP-126	Villa Gloria Sauces – Villa Gladys-	Provisional
		135B	Bosque Popular – Bicentenario	Urbana
		492	Engativa - Palermo	Urbana
		59B	Cortijo - Chapinero	Urbana
		142	Engativa - Centro	Urbana
		P500	Aeropuerto – Centro Andino	Urbana
		BD906	Villa Gladys – Toberin	Urbana
		KA306	Zona Franca – Centro Andino	Urbana
		FA410	Tierra Buena – Chico Norte	Urbana
		228	Aguas Claras – Villa Teresita	Urbana
		CH131	Bilbao – Diana Turbay	Urbana

Tabla 11. (Continuación)

Paradero	Corredor	Código	Denominación	Tipo
145A05	Avenida Calle 63 Costado Norte	C41	Bachué - Germania	Urbana
		ZP-126	Villa Gloria Sauces – Villa Gladys-	Provisional
		135B	Bosque Popular – Bicentenario	Urbana
		492	Engativá - Palermo	Urbana
		59B	Cortijo - Chapinero	Urbana
		142	Engativá - Centro	Urbana
		BD906	Villa Gladys – Toberín	Urbana
		228	Aguas Claras – Villa Teresita	Urbana
		CH131	Bilbao – Diana Turbay	Urbana
		SE6	La Roca – Villa Gladys	Urbana
		442	Mirandela – Villa Gladys	Urbana
		LD800	Gaviotas – Villa Gladys	Urbana
		ZP- 387	Horacio Orjuela – Ferias	Provisional
		ZP- 152	Villa del Cerro- Villa Cindy	Provisional
144A05	Avenida Calle 63 Costado Sur	ZP-126	Villa Gloria Sauces – Villa Gladys-	Provisional
		135B	Bosque Popular – Bicentenario	Urbana
		492	Engativá - Palermo	Urbana
		59B	Cortijo - Chapinero	Urbana
		142	Engativá - Centro	Urbana
		BD906	Villa Gladys – Toberín	Urbana
		228	Aguas Claras – Villa Teresita	Urbana
		CH131	Bilbao – Diana Turbay	Urbana
		SE6	La Roca – Villa Gladys	Urbana
		442	Mirandela – Villa Gladys	Urbana
		LD800	Gaviotas – Villa Gladys	Urbana
		ZP- 387	Horacio Orjuela – Ferias	Provisional
		ZP- 152	Villa del Cerro- Villa Cindy	Provisional
		144A05 049A05	Avenida Carrera 60 Costado Oriental	291
T62	Metrovivienda – Casablanca			Urbana
465A	Bosa San Jose – Chico Norte			Urbana
661	Terminal Norte – Peninsula			Urbana
BK916	Balmoral NTE – Fontibon Refugio			Urbana
CG-137	Suba Corpas – Metrovivienda			Urbana
HC705	Alfonso Lopez – Est. Calle 100			Urbana
HA713	Casaloma Usme – Chico Norte			Urbana
HA606	San Joaquin – Chico Norte			Urbana
576	Bosa Santa Fe – Engativa			Urbana
722	Palmitas – San Cristobal Norte			Urbana
HA610	Paraiso – Chico Norte			Urbana
C101	Providencial – El Palmar			Urbana
ZP-E56	Villa Gloria Sauces – Suba Gaitana			Provisional
200	Hayuelos II Sector – Unicentro			Urbana
Z4B	Ciudad Salitre – Terminal Norte			Urbana
E44	Mirandela – El Uval			Urbana
C36	Montes – Bachue			Urbana
634	Bosa San Diego – Calle 153			Urbana
Z8	Metrovivienda – Toberin			Urbana
BK904	La Estrellita – Salitre Greco			Urbana
HA611	Est. Calle 100 – Santo Domingo			Urbana
12-3	San Pablo – Porciuncula			Urbana
C123	La Magdalena – Centro Andino	Urbana		

Tabla 11. (Continuación)

Paradero	Corredor	Código	Denominación	Tipo
147A05 198A05	Avenida Carrera 60 Costado Occidental	291	Lijaca – Tierra Buena	Urbana
		T62	Metrovivienda – Casablanca	Urbana
		465A	Bosa San Jose – Chico Norte	Urbana
		661	Terminal Norte – Peninsula	Urbana
		BK916	Balmoral NTE – Fontibon Refugio	Urbana
		CG-137	Suba Corpas – Metrovivienda	Urbana
		HC705	Alfonso Lopez – Est. Calle 100	Urbana
		HA713	Casaloma Usme – Chico Norte	Urbana
		HA606	San Joaquin – Chico Norte	Urbana
		576	Bosa Santa Fe – Engativa	Urbana
		722	Palmitas – San Cristobal Norte	Urbana
		HA610	Paraiso – Chico Norte	Urbana
		C101	Providencial – El Palmar	Urbana
		ZP-E56	Villa Gloria Sauces – Suba Gaitana	Provisional
		200	Hayuelos II Sector – Unicentro	Urbana
		Z4B	Ciudad Salitre – Terminal Norte	Urbana
		E44	Mirandela – El Uval	Urbana
		C36	Montes – Bachue	Urbana
		634	Bosa San Diego – Calle 153	Urbana
		Z8	Metrovivienda – Toberin	Urbana
		BK904	La Estrellita – Salitre Greco	Urbana
		HA611	Est. Calle 100 – Santo Domingo	Urbana
		ZP-850	Aures II – Arborizadora Alta	Provisional
		442	Mirandela – Villa Gladys	Urbana
		BF404	Patio Bonito – 222	Urbana
		KA305	El Recodo – Est. Calle 100	Urbana
		HD607	Arborizadora Alta – Morato	Urbana
		12	San Pablo – Porciúncula	Urbana
		C123	La Magdalena – Centro Andino	Urbana
		C41	Bachue – Germania	Urbana
		DG208	Puente de Guadua – Metrovivienda	Urbana
		CK122	Villa Cindy – Clinica Colombia	Urbana
ZP-E4°	Villa Cindy – Villa del Cerro	Provisional		
ZP- 119	Metrovivienda – Cortijo	Provisional		
ZP-850A	Aures II – Tres Esquinas	Provisional		
ZP- C63	Ciudadela el Recreo – Compartir	Provisional		

Fuente. El Autor

### 3. ANÁLISIS DEL NIVEL FUNCIONAL ACTUAL

#### 3.1 INTERSECCIONES GLORIETA AV. CALLE 63 CON CARRERA 60

El análisis funcional de la glorieta para determinar el nivel de servicio y mejorarlo, se realiza con la información de los aforos tomados por la Secretaria de Movilidad de Bogotá, realizados antes de la pandemia, a continuación, se identifica la composición vehicular y composición vehicular horaria, para los diferentes tipos de movimientos y así mismo, como una tabla resumen de las direcciones con mayor capacidad en horas de máxima demanda. Con el fin de caracterizar la zona de las vías que permitirán el ingreso y salida, se realizaron los conteos de tránsito para los vehículos y peatones que circulan actualmente por la malla adyacente al proyecto.

En la Tabla 12 se incluyen los puntos de aforo, los días y períodos de la toma de información, los cuales se definieron de acuerdo con la visita previa realizada, las condiciones y caracterización de movilidad realizada en el área de influencia directa del proyecto.

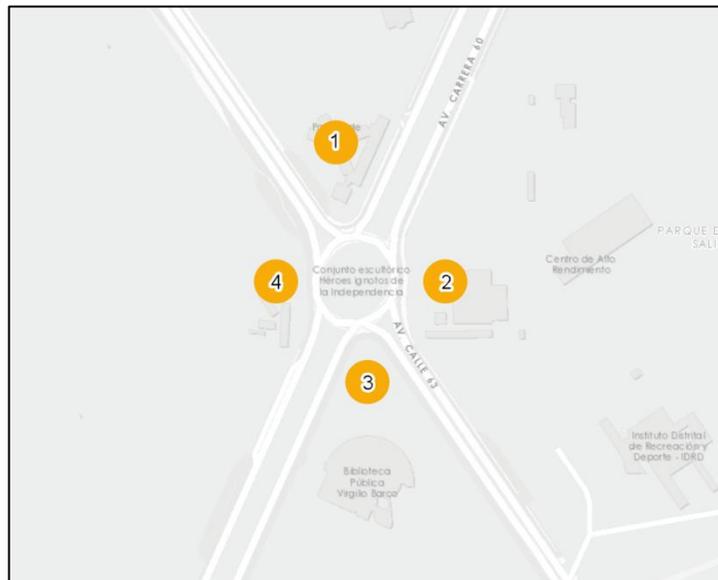
**Tabla 12. Puntos y Fechas de Toma de Información por Tipo de Estudio**

Punto de Aforo	Periodo de Aforo	Fecha de Aforo	Tipo De Estudio
Avenida Calle 63 con Avenida Carrera 60	06:00 - 20:00 Horas	14 de febrero de 2017	Volúmenes vehiculares; ciclorruta y peatones

Fuente. El Autor

En la Figura 12, se incluye la localización de los puntos de aforo seleccionados.

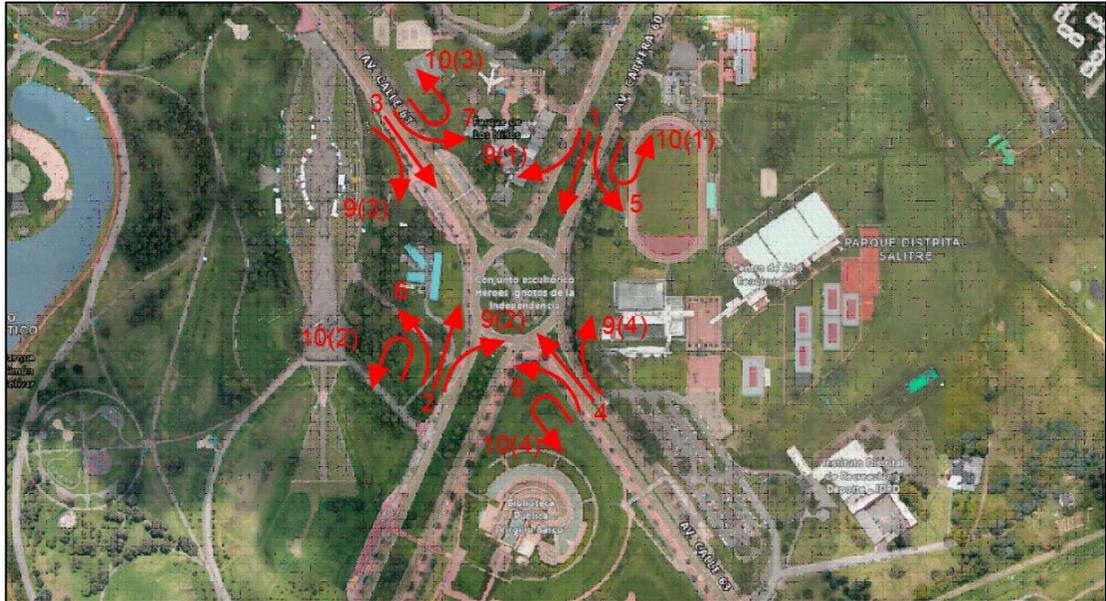
**Figura 12. Esquema con los Puntos de Aforo**



Fuente. El Autor

De la Figura 13, se presentan en detalle los movimientos vehiculares y peatonales registrados en cada uno de los puntos de aforo:

**Figura 13. Movimientos Aforados en la Avenida Carrera 60 con Avenida Calle 63**



Fuente. El Autor a partir de la información tomada en campo

### 3.2 VOLÚMENES VEHICULARES

De acuerdo con lo mencionado en numeral anterior, a continuación, se presentan los conteos vehiculares para cada intersección, adicional se incluyen las bases en medio magnético en el Anexo E.

Los factores de equivalencia empleados para establecer el volumen de los vehículos equivalente se encuentran de acuerdo con lo establecido por el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte en Bogotá, discriminados de la siguiente manera: Autos (1.0), Buses (2.0) y Camiones (2.5), adicionalmente se utilizó un factor de motos (0.5) y de bicicletas (0.25).

Previo a la carga de demandas al modelo ya que tenemos volúmenes del año 2017 (Ver anexo E) y los proyectamos a 2040 (Ver anexo F) con las tasas de crecimiento respectivamente establecidas por la Secretaria Distrital de Movilidad para la localidad de Barrios Unidos solicitada mediante radicado SDM 20216121915902.

Los volúmenes se proyectan con el factor dado por sdm y la formula de interés compuesto  $K*(1+i)^n$ .

**Tabla 13. Tasas de Crecimiento Anuales en Períodos Quinquenales**

Localidad	Período			
	2013 - 2017	2018 - 2022	2023 - 2027	2027 - 2032
Usaquén	2,35%	1,98%	1,76%	1,61%
Chapinero	3,54%	3,68%	3,48%	3,33%
Santa Fe	3,32%	3,50%	3,32%	3,07%
San Cristóbal	2,03%	1,63%	1,44%	1,30%
Usme	3,43%	3,40%	3,18%	3,01%
Tunjuelito	2,39%	2,05%	1,84%	1,66%
Bosa	2,70%	2,39%	2,16%	1,99%
Kennedy	3,00%	2,87%	2,67%	2,46%
Fontibón	2,76%	2,46%	2,23%	2,06%
Engativá	2,98%	2,86%	2,64%	2,49%
Suba	3,23%	3,17%	2,95%	2,78%
Barrios Unidos	3,14%	3,09%	2,90%	2,76%
Teusaquillo	2,61%	2,32%	2,11%	1,95%
Los Mártires	3,04%	2,99%	2,80%	2,66%
Antonio Nariño	2,66%	2,41%	2,21%	2,00%
Puente Aranda	2,73%	2,51%	2,32%	2,18%
La Candelaria	3,05%	2,57%	2,31%	2,12%
Rafael Uribe	2,47%	2,18%	1,99%	1,75%
Ciudad Bolívar	2,71%	2,51%	2,30%	2,11%

Fuente. El Autor

**3.2.1 Día Típico – 14 de febrero de 2017 Intersección de la Avenida Carrera 60 con Avenida Calle 63.** En la Tabla 14 se presentan los períodos pico más representativos a lo largo del período de aforo, en donde se evidencia la hora de máxima de demanda entre las 17:30 horas y las 18:30 horas con 7391 veh/mixtos.

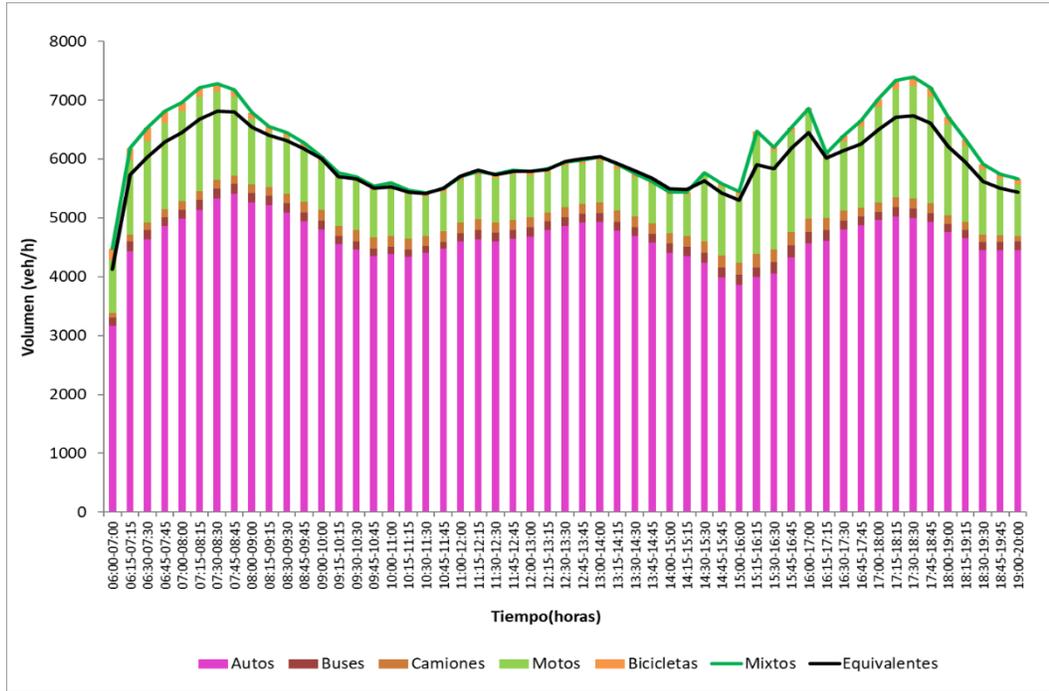
**Tabla 14. Volúmenes Vehiculares HMD - Avenida Carrera 60 con Avenida Calle 63**

HMD AM								
Hora		Autos	Buses	Camiones	Motos	Bicicletas	Mixtos	Equivalentes
7:30	8:30	5330	170	143	1505	132	7280	6817
Composición		73%	2%	2%	21%	2%	FHP	0,93
HMD M								
Hora		Autos	Buses	Camiones	Motos	Bicicletas	Mixtos	Equivalentes
15:45	16:45	4331	202	233	1704	67	6537	6189
Composición		66%	3%	4%	26%	1%	FHP	0,69
HMD PM								
Hora		Autos	Buses	Camiones	Motos	Bicicletas	Mixtos	Equivalentes
17:30	18:30	5005	154	171	1906	155	7391	6734
Composición		68%	2%	2%	26%	2%	FHP	0,95
FHP		0,95						

Fuente. El Autor

De acuerdo con la Figura 14 los volúmenes vehiculares presentan un comportamiento ascendente con el transcurso del día; teniendo en cuenta que se aforo en la intersección, las dinámicas de la ciudad establecen que en la tarde son mayores los vehículos que circulan a los que se mueven en la mañana.

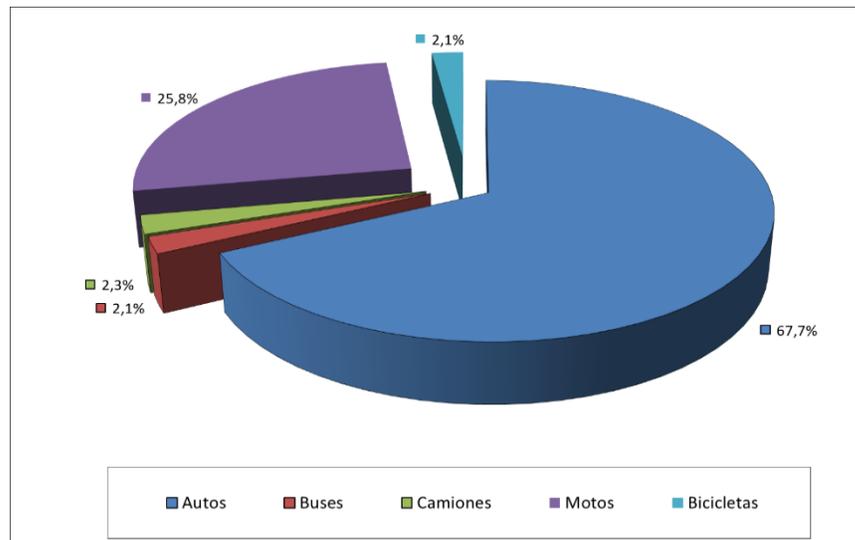
**Figura 14. Histograma Flujo Vehicular en la Avenida Carrera 60 con Avenida Calle 63**



Fuente. El Autor

Por otro lado, en la Figura 15 se evidencia que en la HMD el 67,7% de los vehículos son autos, el 25,8% son motos, el 2,3% son camiones, el 2,1% Buses y el 2,1% corresponden a bicicletas.

**Figura 15. Composición Vehicular HMD en la Avenida Carrera 60 con Avenida Calle 63**



Fuente. El Autor

## **4. ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO**

### **4.1 METODOLOGIA**

Con el objeto de caracterizar las condiciones de circulación del sector de cobertura del futuro elevado de la Avenida Calle 63, se elabora en primera instancia un análisis de la situación actual a partir de las proyecciones de tránsito, para de este modo tener una línea base, y en segunda instancia, cuantificar los impactos que se generarán en el sector desde el punto de vista de movilidad urbana, para la hora de máxima demanda establecida en el proyecto entre las 17:30-18:30 horas de un día típico. Así mismo, para caracterizar las condiciones de circulación del sector de cobertura del elevado, se ha realizado una modelación de tránsito estática mediante el uso del software Vissim 9.0, tomando como referencia la hora pico de del proyecto (17:30-18:30 horas), encontrada mediante las proyecciones de tránsito mencionadas en los numerales anteriores. Para el análisis del escenario actual se utilizó la geometría existente en la red vial y la información primaria de la red vial de la zona de influencia donde se realiza la propuesta.

Para el análisis de movilidad, se emplea como herramienta de soporte el software VISSIM 9.0, para modelación microscópica, desarrollado para representar el tráfico urbano y las operaciones de transporte público, basado en el comportamiento vehicular a través del tiempo y el comportamiento del conductor.

El programa puede analizar el tráfico y las operaciones de tránsito con restricciones como la configuración de carril, composición del tráfico, señales de tráfico y paradas de transporte público, por lo que es una herramienta útil para la evaluación de diversas alternativas basadas en la ingeniería de tránsito y medidas de planificación de transporte. El software permite visualizar en tiempo real el comportamiento de la operación del tráfico mientras que internamente genera archivos con datos estadísticos como tiempo de viaje y longitud de cola. La precisión del modelo está soportada en la metodología empleada para simular el movimiento de los vehículos en la red, considerando el comportamiento psicofísico del conductor desarrollado por el profesor Wiedemann (1974) con distribuciones estocásticas de la velocidad y distancia de desplazamiento. Este modelo ha sido calibrado a través de múltiples mediciones de campo en la Universidad Técnica de Karlsruhe de Alemania (ASITT S.A.S. Asesoría en Ingeniería, Tránsito y Transporte, 2016, p. 27).

### **4.2 CONSIDERACIONES GENERALES**

Para el análisis del escenario actual se utilizó la geometría existente en la red vial y la información primaria de la red vial de la zona de influencia donde se realizará la solución DESNIVEL. Una vez realizada la simulación en el programa VISSIM se verificaron y evaluaron los principales parámetros de la red y de las intersecciones, como son: demoras, niveles de servicio, longitudes de cola y velocidad promedio en la red.

Con estos datos se procede a realizar el análisis de capacidad de la infraestructura y los niveles de servicio, teniendo como punto de partida las demoras por vehículo, esto de acuerdo con la metodología establecida en el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte para intersecciones semaforizadas y no semaforizadas; a continuación, presentan los rangos establecidos para el análisis de los niveles de servicio (véase las Tablas 15,16 y 16):

**Tabla 15. Niveles de Servicio para Intersecciones no Semaforizadas**

Nivel de Servicio	Demoras Promedio por Vehículo (Segundos/Vehículo)
A	0-10
B	>10 - 15
C	>15 - 25
D	>25 - 35
E	>35 - 50
F	>50

Fuente. Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados (2005). Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte.

**Tabla 16. Niveles de Servicio para Intersecciones Semaforizadas**

Nivel de Servicio	Demoras Promedio por Vehículo (Segundos/Vehículo)
A	0-10
B	>10 - 20
C	>20 - 35
D	>35 - 55
E	>55 - 80
F	>80

Fuente. Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados (2005). Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte.

**Tabla 17. Descripción Niveles de Servicio en Intersecciones**

N.S	Tipo de evaluación (s)		GRÁFICO	DESCRIPCIÓN TÉCNICA
	Control Semaforico	Flujo libre		
<b>A</b>	0-10	0-10		La operación de los vehículos no se encuentra perturbada por la presencia de otros vehículos ni las operaciones se encuentran restringidas por las condiciones geométricas.
<b>B</b>	10-20	10-15		Este nivel de servicio indica el flujo libre, aunque se vuelve notable la presencia de otros vehículos. Menos espacio de maniobra que en el N.S. A
<b>C</b>	20-35	15-25		Marca la influencia de densidad de tráfico en el funcionamiento. La habilidad de maniobrar dentro de la corriente de tráfico afectada por la presencia de otros vehículos.
<b>D</b>	35-55	25-35		La habilidad de maniobrar se restringe severamente por la congestión de tráfico. La velocidad de viaje está reducida por el aumento del volumen creciente.
<b>E</b>	55-80	35-50		El funcionamiento está cercano al de la capacidad de la vía; es un nivel inestable. Las densidades varían, mientras dependen de la velocidad a flujo libre que experimenta la corriente de Tráfico.
<b>F</b>	>80	>50		Representa condiciones de flujo forzado o de ruptura. Ocurre cuando los vehículos que llegan son mayores que la proporción a que ellos se descargan o cuando la demanda de previsión excede la capacidad computada de un medio planeado.

Fuente. T&T Tránsito y Transporte Ingeniería (2021). Estudio de movilidad y accesibilidad plan parcial de renovación urbana Bufalo.

### 4.3 CONFIGURACIÓN DEL MODELO

Con el fin de representar el comportamiento real de la red vial dentro del área de influencia, es necesario explicar la metodología que se requiere para el montaje del modelo de micro-simulación, para lo cual se utiliza la información primaria y secundaria recopilada, haciéndose necesario realizar un procedimiento de balanceo de los volúmenes, previo a la carga de demandas al modelo.

De acuerdo con T&T Tránsito y Transporte Ingeniería (2021) los parámetros principales del diseño del modelo de micro-simulación que se deben incluir para garantizar la veracidad de la información que se pueda tomar de los resultados y mediante los cuales se va a caracterizar la zona y calibrar el modelo son los siguientes:

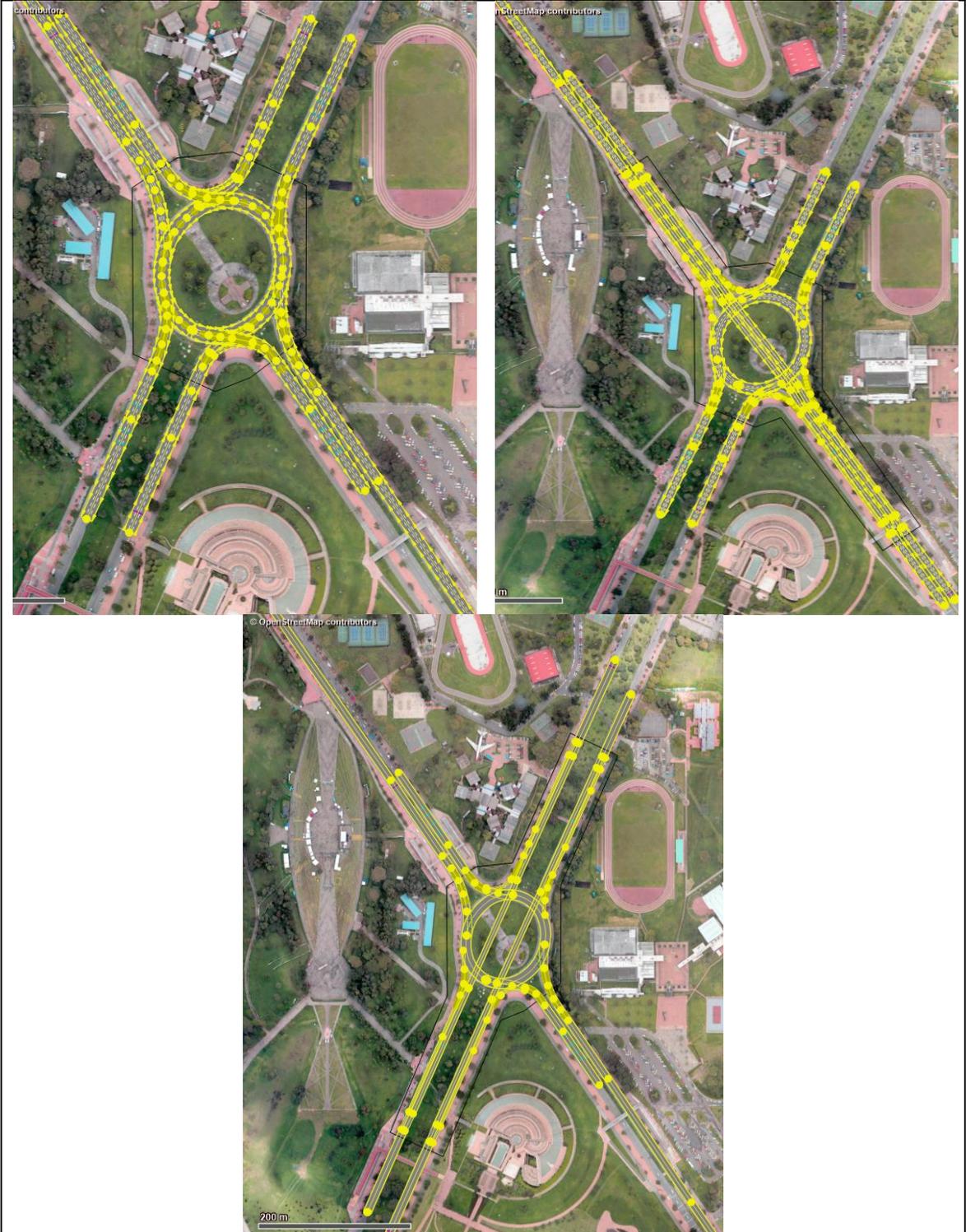
- Carriles
- Dispositivos de Control de Tráfico
- Elementos de Priorización de Movimientos
- Zonas de Atracción de Tránsito
- Rutas
- Paraderos
- Nodos de Evaluación

**4.3.1 Carriles.** El primer parámetro para dar inicio con el diseño en el modelo de micro simulación, tiene que ver con las condiciones geométricas de la zona, es decir, la Calle 63 con Carrera 60, por tanto, se dibujan cada uno de los corredores viales que se tendrán en cuenta en la modelación del sector de estudio.

Los carriles se definen como links a lo largo de los cuales se establecen propiedades y características, y sobre los cuales se insertan variables como paraderos, áreas de reducción de velocidad, controles semafóricos, entre otros. Estos links se conectan mediante conectores que representan los movimientos existentes en las diferentes intersecciones. Cabe anotar que, este punto es muy relevante pues, la optimización de las geometrías del modelo permitirá garantizar la confiabilidad de los resultados arrojados por el mismo (T&T Tránsito y Transporte Ingeniería, 2021).

En la Figura 16 se puede observar la geometría definida en el modelo:

**Figura 16. Configuración de la Red Vial Vehicular**



Fuente. El Autor con base en Vissim 9.0

**4.3.2 Rutas de decisión.** La generación de rutas dentro del modelo para vehículos: livianos, motos y vehículos pesados es realizada asignando volúmenes por movimiento en cada intersección, teniendo en cuenta la información de campo recopilada tomando como los puntos de interés de los principales corredores que alimentan la zona. En este sentido, los datos de entrada para el modelo se muestran en la Tabla 18 y corresponden a la HMD del proyecto, es decir 17:30-18:30 horas, en un día típico.

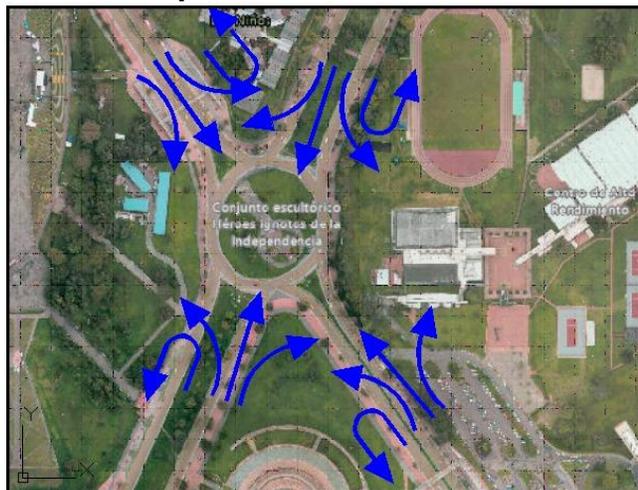
**Tabla 18. Datos de Entrada por Tipo de Vehículo (HMD Proyecto)**

Intersección	Mov	Volúmenes HMD (17:30-148:30)				
		Autos	Buses	Camiones	Motos	Mixtos
1. AC 63 x AK 60	1	341	7	45	180	585
	5	175	5	6	45	233
	9(1)	409	7	12	151	584
	10(1)	18	0	0	8	26
	2	332	8	14	118	485
	6	403	9	6	102	530
	9(2)	178	9	5	82	84
	10(2)	18	0	0	8	26
	3	558	35	13	295	928
	7	178	9	5	82	284
	9(3)	41	2	0	16	60
	10(3)	182	7	10	120	327
	4	1312	36	33	355	1771
	8	123	3	4	45	177
	9(4)	622	11	16	140	799
	10(4)	44	1	0	9	54

Fuente. El Autor

En cada una de las intersecciones modeladas se realiza el montaje de las rutas de decisión por tipo de vehículo, cuyo objetivo es permitir la distribución de los volúmenes vehiculares a lo largo de red. En las Figura 17, 18 y 19 se pueden observar las rutas que se ingresaron al modelo.

**Figura 17. Rutas de Decisión para la Situación Actual de la Glorieta**



Fuente. El Autor con base en Vissim 9.0

**Figura 18. Rutas de decisión Solución a Desnivel Sobre la Calle 63**



Fuente. El Autor con base en Vissim 9.0

**Figura 19. Rutas de decisión Solución a Desnivel Sobre la Carrera 60**



Fuente. El Autor con base en Vissim 9.0

**4.3.3 Nodos de evaluación.** Por último, se definen los nodos a través de los cuales se extraerán los resultados de la modelación de tránsito y que permite calificar las siguientes variables:

- Demoras
- Número total de vehículos por arco.
- Tiempo de detención
- Movimiento
- Índices de contaminación
- Niveles de Servicio

La Tabla 19 muestra los nodos definidos para la realización del análisis:

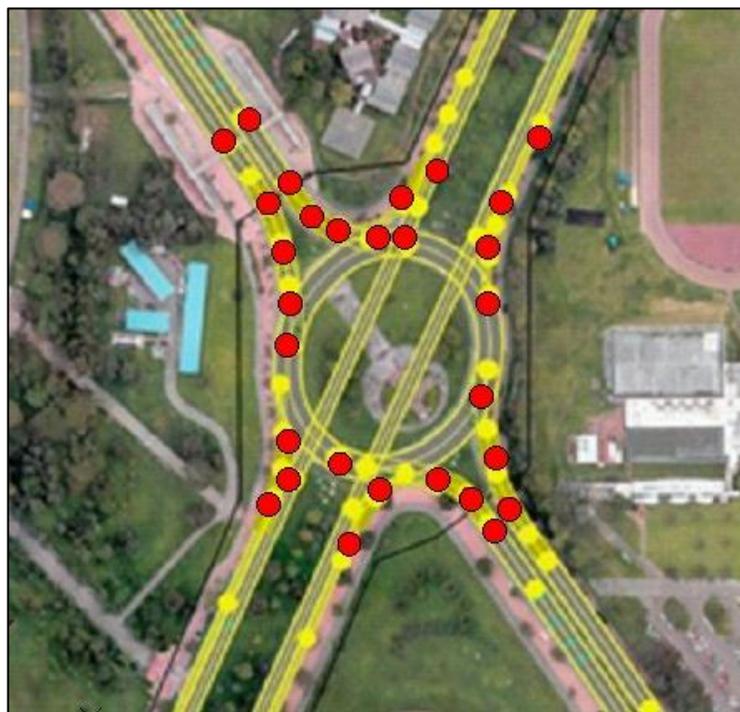
**Tabla 19. Identificación y localización de los nodos de evaluación**

Nodo	Localización
1	Avenida Calle 63 x Avenida Carrera 60

Fuente: Elaboración propia

La ubicación de los nodos dentro del modelo de micro-simulación que afectan el área de influencia del proyecto se muestra en la Figura 20.

**Figura 20. Configuración de Nodos de Evaluación Dentro del Modelo de Simulación**



Fuente. Elaboración propia con base en Vissim 9.0

#### **4.4 CALIBRACIÓN DEL MODELO**

Una vez se tienen los datos del modelo de tránsito, se da paso a la validación del modelo, con la cual se puede comprobar si los resultados de la asignación son correctos, para esto se comparan los flujos en los arcos establecidos como puntos de aforo. En este caso, se usan los resultados de la información de aforos, para tener el volumen vehicular anotado durante el período pico en los principales puntos sobre la red vial que se está estudiando, es decir, la Calle 63 con Carrera 60.

En este sentido, se debe tener en cuenta para la calibración que “cuando el error, global y ponderado, entre los valores contrastados es suficientemente bueno, inferior a un 15%-30%, se considera que el modelo está calibrado” (T&T Tránsito y Transporte Ingeniería, 2021, p. 5-23).

Por otro lado, los puntos de control que se tendrán en cuenta para el modelo, así como los valores de tráfico de las estaciones de aforo, y los resultados de la calibración de la situación actual, se obtendrán del análisis de nodos previamente identificados.

Finalmente, para la validación del modelo, se seleccionan un conjunto de puntos sobre la red vial obtenidos de la información real del flujo de vehículos en la hora pico, que son contrastados con los resultados obtenidos por el modelo de asignación.

Entonces, como resultado del proceso de calibración se va a obtener el volumen vehicular por cada uno de los arcos de la red vial que cuentan con conteos vehiculares. A partir del uso del estadístico GEH (1) se determina la aceptación de la calibración. Aclarándose que “los valores de GEH inferiores a 5 demuestran un alto nivel de calibración del modelo” (T&T Tránsito y Transporte Ingeniería, 2021, p. 5-24).

Ecuación 1. Cálculo del GEG

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{obs} - q_{sim})^2}{0.5(q_{obs} + q_{sim})}}$$

Donde:

$q_{obs}$  flujo vehicular observado en el periodo considerado

$q_{sim}$  flujo vehicular simulado en el periodo considerado

Con el fin de conocer la aceptación de un modelo de micro simulación es necesario cumplir los siguientes parámetros y modelos de validación (véase la Tabla 20):

**Tabla 20. Parámetros de Validación**

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Parámetro 1</b>	Para arcos individuales o segmentos analizados, el indicador GEH debe ser inferior a 5.0.
<b>Parámetro 2</b>	Si el volumen vehicular observado es menor a 700 vehículos/hora, la diferencia con el volumen modelado no debe superar los 100 vehículos/hora.
<b>Parámetro 3</b>	Si el volumen vehicular se encuentra entre 700 y 2700 vehículos/hora la diferencia entre los dos volúmenes no debe superar el 15%.
<b>Parámetro 4</b>	Si el volumen vehicular supera los 2700 vehículos/hora la diferencia entre el volumen aforado y el modelado no debe superar los 400 vehículos/hora.

Fuente. T&T Tránsito y Transporte Ingeniería (2021). Estudio de movilidad y accesibilidad del tránsito plan parcial de renovación urbana

Con estos parámetros se puede hacer uso de los cuatro modelos de validación (véase la Tabla 21), los cuales conjuntamente, ofrecen la herramienta requerida para dar aceptabilidad a la representatividad de los modelos de micro simulación a razón del indicador GEH. Cabe anotar que, si se cumple como mínimo con dos de los modelos de validación, el modelo de micro simulación es considerado aceptado, ya que, se tendrá la seguridad y precisión en el momento en que se acepten los resultados suministrados por el programa VISIM, el cual de manera lógica puede aumentar a medida que aumente el número de parámetros que se cumplen; así mismo, si se cumple con los cuatro modelos el nivel de calibración y de aceptación del modelo propuesto aumenta (T&T Tránsito y Transporte Ingeniería, 2021). La cantidad de intersecciones con las que calibren deben ser las mismas, y en igual número, sobre las que realizaron conteos y aforos para la ejecución del proyecto.

**Tabla 21. Modelos de Validación**

<b>Modelo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Modelo 1</b>	Este modelo plantea que los parámetros 2, 3 y 4 deben cumplirse para más del 85% de los arcos evaluados, si este modelo no se cumple se considera el modelo no válido – no calibrado.
<b>Modelo 2</b>	Este modelo plantea que el error de precisión debe estar por debajo del 5%, error que se calcula relacionando el total de los volúmenes de campo tomados para la elaboración del modelo (hitos de calibración) vs el total de los volúmenes modelados.
<b>Modelo 3</b>	Este modelo plantea que el GEH calculado para el parámetro 1 se encuentre aceptado para más del 85% de los casos.
<b>Modelo 4</b>	Este modelo plantea que el GEH de todo el modelo no debe superar el valor de 4.0 para estar calibrado.

Fuente. T&T Tránsito y Transporte Ingeniería (2021). Estudio de movilidad y accesibilidad del tránsito plan parcial de renovación urbana

De acuerdo con lo anterior, en la Tabla 22 se observan los resultados obtenidos de la calibración por volumen de tránsito según tipo de vehículo y vehículos mixtos del modelo, los datos por movimiento se pueden observar más detalladamente en el Anexo de modelación.

**Tabla 22. Calibración del Modelo por Volúmenes - Mixtos**

No.	INTERSECCIÓN	MOVIMIENTO	FLUJO VEHICULAR OBSERVADO	FLUJO VEHICULAR MODELADO	CALIBRACIÓN GEH		CALIBRACIÓN FLUJOS		
					GEH	ACEPTACIÓN	INT. 1	INT. 2	INT. 3
1	ROTONDA EXISTENTE	5	401	398	0,2	1	1	-	-
2		1	357	332	1,3	1	1	-	-
3		9(1)	286	286	0,0	1	1	-	-
4		10(1)	12	13	0,3	1	1	-	-
5		6	216	213	0,2	1	1	-	-
6		2	268	253	0,9	1	1	-	-
7		9(2)	302	302	0,0	1	1	-	-
8		10(2)	12	12	0,0	1	1	-	-
9		7	302	284	1,1	1	1	-	-
10		3	1369	1.335	0,9	1	-	1	-
11		9(3)	401	393	0,4	1	1	-	-
12		10(3)	54	55	0,1	1	1	-	-
13		8	85	78	0,8	1	1	-	-
14		4	899	897	0,1	1	-	1	-
15		9(4)	410	402	0,4	1	1	-	-
16		10(4)	54	54	0,0	1	1	-	-
			5.428	5.307	1,7	100%	100%	100%	-
			TOTAL OBSERVADO	TOTAL MODELADO	GEH	% ACEPTACIÓN	% ACEPTACIÓN INT. 1	% ACEPTACIÓN INT. 2	% ACEPTACIÓN INT. 3
			2%			✓	1	Flujos de arcos individuales	
			ERROR PRECISIÓN			✓	2	Suma de todos los flujos por	
						✓	3	GEH para flujos por arco	
						✓	4	GEH para suma sobre flujos	

Fuente. El Autor

#### 4.5 RESULTADOS SITUACIÓN ACTUAL

De acuerdo con los resultados obtenidos anteriormente, se evalúa el sistema vial teniendo en cuenta los parámetros geométricos y operativos que se definieron previamente, en cuanto a los volúmenes éstos son generados con la información registrada en las fechas de estudio descritas posteriormente.

En la Tabla 23 se pueden observar los resultados obtenidos del modelo de micro-simulación de tránsito, estableciendo adicionalmente, los diferentes niveles de servicios para cada movimiento de las intersecciones que componen la zona de estudio, es decir, la Calle 63 con Carrera 60.

**Tabla 23. Resultados Desagregados del Modelo de Micro Simulación - Situación Actual**

Intersección	MVTO	Demora	NS por demora	Demora total (S)	NS por demora total	Cola promedio (M)	
1. AK 60 x AC 63	5	81,1	F	45,0	E	46,5	122,0
	1	82,7	F			46,5	122,0
	9(1)	15,4	C			46,9	125,5
	10(1)	85,5	F			46,5	122,0
	6	8,8	A			3,2	50,9
	2	8,7	A			3,2	50,9
	9(2)	6,8	A			4,0	59,5
	10(2)	7,9	A			3,2	50,9
	7	62,9	F			103,4	246,0
	3	61,4	F			103,4	246,0
	9(3)	61,3	F			103,4	246,0
	10(3)	56,4	F			103,4	246,0
	8	28,6	D			22,1	110,7
	4	29,3	D			22,1	110,7
	9(4)	28,9	D			22,1	110,7
	10(4)	28,7	D			22,1	110,7

Fuente. El Autor

**Tabla 24. Resultados RED del Modelo de Micro Simulación - Situación Actual**

	Velocidad Red (Km/h)	Dem/Veh (s)	Tiempo Viaje (h)	Demora Total (h)	Vehículos Ingresados Modelo	Vehículos Entrando Red	Demanda Latente
Actual	24,95	60,74	172	93	5358	5309	0

Fuente. El Autor

De acuerdo con la información obtenida anteriormente, se pudo establecer que, durante la hora de máxima de demanda de tráfico de la zona de estudio, la intersección presenta un nivel de servicio F asociado a la infraestructura existente, es decir con un control semafórico >80 un flujo libre >50 representando unas condiciones de flujo forzado o de ruptura, la demanda de previsión excede la capacidad computada del medio planeado (T&T Tránsito y Transporte Ingeniería, 2021); por tanto, la red de manera general muestra condiciones poco adecuadas de operación vial.

En relación a la evaluación de la red, se tiene que la zona de estudio muestra una velocidad promedio de 25 Km/hr, además presenta demoras por vehículo alrededor de los 60,74 segundos. También se observa una demanda latente de 0 vehículos en promedio, es decir, por la red circularon y se modelaron todos los vehículos asignados.

Finalmente, según los resultados de la calibración del modelo y los parámetros de evaluación desagregados y de la red, se puede decir que el modelo de estudio tiene una movilidad encontrada en campo en la actualidad.

#### 4.6 MODELCIÓN CON LA PROPUESTA A DEL PASO DESNIVEL

Teniendo en cuenta el alcance de esta investigación, la modelación incluye la evaluación de la infraestructura vial actual de la zona de estudio Calle 63 con Carrera 60, insertando el paso a desnivel, modelando el tránsito actual adicionando el tráfico generado.

**4.6.1 Resultados modelación con la propuesta a del paso desnivel.** En el presente numeral se exponen los resultados del Escenario del paso a desnivel para la intersección vial de la Calle 63 con Carrera 60 (véase la Tabla 25):

**Tabla 25. Resultados Desagregados del Modelo de Micro simulación – zona de Estudio con Paso a Desnivel**

Intersección	Mov	Actual					
		Demora	NS por demora	Demora total (s)	NS por demora total	Cola promedio (m)	Cola máxima (m)
AK 60 x AC 63	5	81,1	F	45,0	E	46,5	122,0
	1	82,7	F			46,5	122,0
	9(1)	15,4	C			46,9	125,5
	10(1)	85,5	F			46,5	122,0
	6	8,8	A			3,2	50,9
	2	8,7	A			3,2	50,9
	9(2)	6,8	A			4,0	59,5
	10(2)	7,9	A			3,2	50,9
	7	62,9	F			103,4	246,0
	3	61,4	F			103,4	246,0
	9(3)	61,3	F			103,4	246,0
	10(3)	56,4	F			103,4	246,0
	8	28,6	D			22,1	110,7
	4	29,3	D			22,1	110,7
	9(4)	28,9	D			22,1	110,7
	10(4)	28,7	D			22,1	110,7

Fuente. El Autor

**Tabla 26. Resultados Desagregados del Modelo de Micro Simulación AC63 Elevada y AK 60 Elevada**

Intersección	Mov	AC 63 Elevada						AK 60 Elevada					
		Demora	Ns por demora	Demora total (s)	Ns por demora total	Cola promedio (m)	Cola máxima (m)	Demora	Ns por demora	Demora total (s)	Ns por demora total	Cola promedio (m)	Cola Máxima (m)
AK 60 x AC 63	5	3,3	A	3,3	A	0,5	29,2	3,1	A	19,8	C	1,2	59,5
	1	0,6	A			0,5	29,2	0,2	A			0,6	59,5
	9(1)	3,7	A			0,7	31,5	7,1	A			1,8	64,0
	10(1)	0,6	A			0,5	29,2	4,4	A			1,2	59,5
	6	2,6	A			3,1	56,3	25,6	D			22,5	149,4
	2	0,5	A			3,1	56,3	0,2	A			11,3	149,4
	9(2)	17,8	C			4,5	65,0	38,8	E			23,4	150,7
	10(2)	1,2	A			3,1	56,3	28,4	D			22,5	149,4
	7	6,7	A			4,2	74,6	34,2	D			34,3	144,6
	3	1,2	A			2,3	74,6	33,4	D			34,3	144,6
	9(3)	7,0	A			4,2	74,6	32,9	D			34,3	144,6
	10(3)	7,3	A			4,2	74,6	34,0	D			34,3	144,6
	8	3,0	A			1,0	47,7	8,9	A			8,0	75,0
	4	0,5	A			0,5	47,7	9,3	A			8,0	75,0
	9(4)	3,2	A			1,0	47,7	13,3	B			8,0	75,0
	10(4)	4,5	A			1,0	47,7	8,3	A			8,0	75,0

Fuente. El Autor

**Tabla 27. Resultados RED del Modelo de Micro Simulación – Zona de Estudio con Paso a Desnivel**

	Velocidad Red (Km/h)	Dem/Veh (s)	Tiempo Viaje (h)	Demora Total (h)	Vehículos Ingresados Modelo	Vehículos Entrando Red	Demanda Latente
Actual	24,95	60,74	172	93	5358	5309	0
AC 63 Elevada	46,17	3,44	93	5	5358	5357	0
AK 60 Elevada	37,07	19,69	121	30	5358	5361	0

Fuente. El Autor

Según los resultados que se obtienen del escenario de incluir una intersección a desnivel sobre la glorieta ubicada en la carrera 60 con calle 63, se observa una mejora en las demoras en las redes viales evaluadas, así mismo, se tiene que en caso de presentarse un incremento de las demoras este sería insignificante pues, el nivel de servicio de las intersecciones se mantiene igual respecto a la situación actual de las mismas.

Por otro lado, con la evaluación de la red, se tiene que la velocidad de la glorieta ubicada en la carrera 60 con calle 63 con una intersección a desnivel sobre ésta sería por la AV 63 elevada de 46.17 Km/hr aproximadamente y por la AK 60 elevada de 37.07 Km/hr, observándose un aumento del 85% y 48% respectivamente, en comparación con la velocidad actual mostrada en la glorieta, por tanto, se presentaría una mejora considerable en la movilidad del sector. En cuanto a las demoras por vehículo se tiene que en la actualidad ésta es de 93 segundos promedio, y según los resultados de la modelación este tiempo disminuiría en las dos vías tanto en la AC 63 (5 segundos aprox.) como en la AK 60 (30 segundos aprox). Finalmente, la demanda latente en la zona actual vs. la inclusión del paso a desnivel es de 0 vehículos en promedio, es decir, por la red circularon y se modelaron todos los vehículos asignados.

Teniendo en cuenta los resultados que muestra la evaluación, se evidencia que será conveniente incluir una intersección a desnivel sobre la glorieta ubicada en la calle 63 con Carrera 60 ya que con ésta se generarían incidencias positivas en la movilidad de la zona de influencia mejorando los índices de velocidad del tránsito vehicular y por tanto, el colapso de la red vial en las horas pico.

## 5. CONCLUSIONES

- Actualmente la glorieta de la AC 63 con AK 60 funciona como una intersección controlada por “Ceda el Paso” utilizando un lenguaje coloquial. La geometría vial y el volumen vehicular que maneja la intersección en la HMD, una vez realizada la evaluación a través de la micro-modelación de simulación (PTV-Vissim), muestra que el nivel de servicio E, con demoras promedio para la intersección de 45 segundos. Sin embargo, la evaluación por acceso determina que tanto el occidental, como el oriental (Calle 63), presentan Niveles de Servicio F y D, respectivamente; por lo cual se concluye que la intersección no opera satisfactoriamente.
- Por otro lado, elevando la Carrera 60, y manteniendo la glorieta para los intercambios viales, se obtiene un Nivel de Servicio C para la intersección. Al revisar los resultados por acceso, se evidencia que los Niveles de Servicio mejoran del D.
- Por último, al elevar la Calle 63, y manteniendo la rotonda para los intercambios viales, el Nivel de Servicio es A, es decir, mejora ostensiblemente. De igual forma pasa con los accesos, todos quedarían en Nivel de Servicio A.
- Finalmente, se concluye que, la intervención sobre la intersección debería enfocarse en elevar la Calle 63 sobre la Carrera 60, con un puente de dos carriles por sentido.

## **6. RECOMENDACIONES**

➤La recomendación para la solución de la intersección es generar la solución a desnivel sobre la Avenida Calle 63 manteniendo la rotonda para los intercambios viales, ya que bajo modelación el nivel de servicio es A es decir mejora enormemente y soluciona toda la intersección.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

M. M. Moreno Miranda , J. P. Beltrán Cárdenas y N. E. Palomino Rozo, «Movilidad urbana sostenible en ciudades intermedias colombianas. Metodología y diagnóstico territorial,» de *Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo* , Bogotá , 2017.

Departamento Nacional de Planeación, CONPES 4034 Apoyo del gobierno nacional a la actualización del programa integral de movilidad de la región de Bogotá-Cundinamarca (PIMRC), Bogotá: Ministerio de Transporte, 2021.

C. G. Delgado-Castro, R. A. Rodríguez-Rivas y W. A. Verá-Ávila, «Propuesta de puente aplicando el método de diseño AASHTO LRFD para la ciudad de Manta,» *Revista Científica Dominio de las Ciencias* , vol. 4, nº 3, pp. 189-210, 2018, .

M. Salamaka y K. Frossb, «Bridges in Urban Planning and Architectural Culture,» *Procedia Engineering*, nº 161, p. 207 – 212, 2016.

A. Gonzalez, M. Schorr, B. Valdez y A. Mungaray, «Bridges: Structures and Materials, Ancient and Modern,» de *Infrastructure Management and Construction*, Intechopen, 2020.

M. Segola y A. S. Oladele, «Traffic Congestion and Mobility Solutions for Francistown Road Transportation Network Systems,» *BIE Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 6, nº 2, pp. 33-40, 2016.

W. A. Junco-Piñeros y N. Zambrano-Montiel, Propuesta de diseño puente peatonal sobre la Av. Boyacá con calle 12 B., [Tesis de Pregrado]. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2021.

J. C. Blandón-Gadea, Estudio de factibilidad del proyecto “construcción de un puente vehicular entre los barrios Los Encuentros y Villa El Carmen”, en el municipio de Jinotega, [Tesis de pregrado]. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Tecnología de la Construcción, 2017.

P. J. Pulido Contreras y M. L. Gómez Patiño, Evaluación de la capacidad y nivel de servicio de la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá dc-Colombia por medio de métodos no convencionales, [Tesis de Pregrado]. Bogotá : Universidad la Gran Colombia. Facultad de Ingeniería Civil, 2018.

K. W. Devasurendra, L. Perera y S. Bandara, «Traffic engineering solutions for minimizing delays and risks at roundabouts,» de *Conference: Civil Engineering Research Symposium* , Sri Lanka, 2014.

P. L. Mututantri, W. D. Abeysinghe, L. S. S. Wijewardena y K. S. Weerasekera, «Design of a Flyover and Roundabout underneath it to ease the Traffic Congestion at the Rajagiriya Junction,» *ENGINEER* , vol. XLVIII, n° 4, pp. 33-47, 2015.

C. Lange, «Dimensiones culturales de la movilidad urbana,» *Revista INVI*, vol. 26, n° 71, pp. 87-106, 2011.

L. Amézquita, D. Durán y D. Fajardo, «Matriz origen-destino y eficiencia en modos de transporte urbano: un análisis de la movilidad de Bogotá,» *Semestre Económico*, vol. 19, n° 39, pp. 91-111, 2016.

O. Alfonso, «El sistema entrópico de movilidad cotidiana en la zona metropolitana de Bogotá,» *Territorios*, n° 28, p. 165–185, 2013.

G. Romero y D. Lugo, «El estado del arte de la movilidad del transporte en la vida urbana en ciudades latinoamericanas,» *Revista Transporte y Territorio*, n° 19, pp. 133-157, 2018.

D. Castillo y E. Moncada, Evaluación de propuesta de evolución de intersección semaforizada a glorieta, [Trabajo de Pregrado]. Bogotá : Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería., 2017.

Insider Studios & HERE Technologies , «Traffic is awful. This is how location technology is helping to make it better,» 24 may 2019. [En línea]. Available: <https://www.businessinsider.com/sc/how-to-improve-traffic-in-cities-2019-5>.

- V. . M. Perra, A. Sdoukopoulos y M. Pitsiava-Latinopoulou, «Evaluation of sustainable urban mobility in the city of Thessaloniki,» *Transportation Research Procedia*, nº 24, p. 329–336, 217.
- C. V. Velásquez, Espacio público y movilidad urbana. Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM), [Tesis Doctoral Espacio Público y Regeneración Urbana]. Barcelona: Universidad de Barcelona. Facultad de Bellas Artes, 2015.
- Instituto de Desarrollo Urbano IDU, Guía para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C., Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- S. L. Jones, Roundabout planning, design, and operations manual, Alabama: University Transportation Center for of Alabama, 2015.
- V. Gallardo, Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2005.
- Construmatica , «Tipos de Glorietas,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.construmatica.com/construpedia/Tipos\\_de\\_Glorietas](https://www.construmatica.com/construpedia/Tipos_de_Glorietas).
- H. N. Suárez Joya y C. A. Pantoja Santander, Prediseño geométrico a nivel y a desnivel de la intersección El Jazmín, [Tesis de pregrado]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2005.
- J. F. Mendoza Sánchez, F. M. Quezada Bermúdez y J. A. Trejo Trejo, Propuesta metodológica para justificar la construcción de intersecciones a desnivel, Sanfandila: Instituto Mexicano del Transporte, 2015.
- A. F. Almanza Rodríguez y J. F. Mora Contreras, Estudio y diseño del paso a desnivel entre la intersección de la Av. Circunvalar y la calle 22, [Tesis de Pregrado]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015.
- D. Vargas, Identificación de problemas de movilidad en la ciudad de Bogotá, [Tesis de pregrado]. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería , 2018.

Secretaría Distrital de Planeación SDP, «Encuesta de Movilidad 2019,» 2019. [En línea]. Available:

[https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/20-12-2019/resultados\\_preliminares\\_encuestamovilidad\\_2019-20191220.pdf](https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/20-12-2019/resultados_preliminares_encuestamovilidad_2019-20191220.pdf).

Instituto de Desarrollo Urbano IDU, Inventario de puentes de la ciudad de Bogotá D.C 2020-1, Bogotá : Dirección Técnica Estratégica, 2020.

PTE, «¿Qué es un puente vehicular?,» 15 agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.eymproductostecnicos.com/puentes-vehiculares>.

D. Méndez, «Maestría en vías terrestres,» 2009. [En línea]. Available: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/volumenes-ingenieria-de-transito.pdf>.

I. Thomson y A. Bull, La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales, Santiago de Chile: CEPAL, 2001.

PTV Group, «¿Qué ofrece PTV Visum?,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.ptvgroup.com/es/soluciones/productos/ptv-visum/>.

Secretaria Distrital de Planeación, «Vías, Transporte y Servicios Públicos,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.sdp.gov.co/gestion-territorial/vias-transporte-y-servicios-publicos/vias#:~:text=Malla%20vial%20arterial%20principal%3A%20Es,con%20el%20resto%20del%20pa%C3%ADs..>

Secretaría de Tránsito y Transporte y Cal & Mayor y Asociados, Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte, 2 ed., Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005.

Google Maps , «Ubicación glorieta Avenida Calle 63 con Carrera 60,» 2021. [En línea]. Available:

[https://www.google.com/search?tbs=lf:1,lf\\_ui:1&tbm=lcl&q=Avenida+Calle+63+con+Carrera+60&rflfq=1&num=10&ved=2ahUKEwj2-93O7f7zAhXwSDABHdn](https://www.google.com/search?tbs=lf:1,lf_ui:1&tbm=lcl&q=Avenida+Calle+63+con+Carrera+60&rflfq=1&num=10&ved=2ahUKEwj2-93O7f7zAhXwSDABHdn).

Alcaldía Mayor de Bogotá , Decreto 190 (22 de Junio de 2004). Por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003, R.D. 3122 , 2004.

Mapas Bogotá, «Malla vial integral Avenida Calle 63 con Carrera 60,» 2021. [En línea]. Available: <https://mapas.bogota.gov.co/#>.

Movilidad Bogotá , «Mapa de Paraderos de Buses,» 2021. [En línea]. Available: <https://movilidadbogota.maps.arcgis.com/>.

ASITT S.A.S. Asesoría en Ingeniería, Tránsito y Transporte, Análisis de movilidad plan parcial El Chanco, Bogotá: Secretaría Distrital de Planeación, 2016.

T&T Tránsito y Transporte Ingeniería, «Estudio de movilidad y accesibilidad plan parcial de renovación urbana Bufalo,» Secretaría Distrital de Planeación, Bogotá, 2021.

## 8. ANEXOS

**Link de Rubrica:**

<https://drive.google.com/drive/folders/1IIPtSW-7mvz1Cp7ouupiQrPGjAOa9FmU?usp=sharing>